

ELIANA PANTALEÃO

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SISTEMAS BASEADOS EM
CONHECIMENTO EM PROJETO CARTOGRÁFICO TEMÁTICO**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de mestre em
Ciências Geodésicas, Curso de Pós-
Graduação em Ciências Geodésicas,
Setor de Ciências da Terra.
Universidade Federal do Paraná.**

Orientadora: Claudia Robbi Sluter

CURITIBA

2003

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido Daniel, por sua compreensão, ajuda e encorajamento nos momentos difíceis.

À minha mãe Vanda, por seus conselhos e expectativas.

Ao meu pai Vicente que, embora não esteja mais conosco, deixou valiosas lições de vida.

À minha orientadora Cláudia Robbi Sluter, por seus ensinamentos, seus incentivos, sua compreensão e seu carinho.

Aos professores que participaram da banca de qualificação, por suas sugestões inestimáveis: Mônica Decanini, Milton Ramos, Hélio Pedrini.

A todos os meus amigos do mestrado, pelo apoio e exemplo de perseverança, entre outros: Andrea Tedesco, Andrea Faria, Mônica Pires, Moisés, Niel, Jaime, Deise, Madalena, Erica.

Aos amigos da PUC pelo incentivo: Andreia Malucelli, Raquel Stasiu, Marcos Shmeil, Cláudio de Oliveira, Attilio Zanelatto Neto, Orlando Alcântara.

À Mônica, pelo auxílio com os aspectos burocráticos da secretaria.

A algumas outras pessoas que de uma forma ou outra contribuíram para que esta pesquisa fosse iniciada: Celso Kaestner, Bráulio, Décio Krause, Robert Burnett, Romualdo Wandressen, Irene Klassen.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 PROJETO CARTOGRÁFICO TEMÁTICO	4
2.1 LINGUAGEM CARTOGRÁFICA.....	8
2.2 MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO TEMÁTICA.....	15
2.2.1 MAPAS COROPLÉTICOS.....	15
2.2.2 MAPAS DE SÍMBOLOS PONTUAIS PROPORCIONAIS.....	18
2.3 CLASSIFICAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS	26
3 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO	30
3.1 ONTOLOGIA	31
3.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	34
3.2.2 AMBIENTES PARA A CONSTRUÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	41
4 APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	43
5 METODOLOGIA	53
5.1 ANÁLISE DAS DECISÕES ENVOLVIDAS NO PROJETO CARTOGRÁFICO TEMÁTICO.....	54
5.2 ONTOLOGIA CONSTRUÍDA.....	60
5.3 SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO	64
6 IMPLEMENTAÇÃO	71
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
APÊNDICE 1 – BASE DE CONHECIMENTOS.....	90

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – DIAGRAMA DE PROJETO E PRODUÇÃO DE MAPAS TOPOGRÁFICOS DA SOCIEDADE SUÍÇA DE CARTOGRAFIA.....	5
FIGURA 2 – DIAGRAMA DE PROJETO DE SÍMBOLOS	7
FIGURA 3 – MODELO DE FENÔMENO 3D VERDADEIRO.....	10
FIGURA 4 – APARÊNCIA DAS VARIÁVEIS VISUAIS PARA CADA PRIMITIVA GRÁFICA.....	12
FIGURA 5 – VARIÁVEIS GRÁFICAS ADEQUADAS AOS NÍVEIS DE MEDIDA.....	13
FIGURA 6 – MODELO COROPLÉTICO 3D	16
FIGURA 7 – MAPA COROPLÉTICO: PORCENTAGEM DE PESSOAS ALFABETIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ EM TONS DE CINZA.....	17
FIGURA 8 – MAPA COM DADOS NÃO CLASSIFICADOS.....	19
FIGURA 9 – MAPA COM DADOS CLASSIFICADOS UTILIZANDO A TABELA DE DENT PARA O DIMENSIONAMENTO DOS SÍMBOLOS	19
FIGURA 11 – CONSTRUÇÃO DO MAPA ISARÍTMICO	22
FIGURA 12 – REDE TRIANGULAR IRREGULAR.....	23
FIGURA 13 – PONTOS DE CONTROLE PARA MAPAS ISOPLÉTICOS	24
FIGURA 14 – ESPAÇAMENTO UNIFORME DOS PLANOS HORIZONTAIS	25
FIGURA 15 – SIMBOLIZAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO PELA MÉDIA E DESVIO PADRÃO.....	28
FIGURA 16 – MAPA GERADO A PARTIR DE UM CONJUNTO DE DADOS NUMÉRICOS CLASSIFICADOS PELO MÉTODO DOS QUANTIS	29
FIGURA 17 – MAPA GERADO A PARTIR DE UM CONJUNTO DE DADOS NUMÉRICOS CLASSIFICADOS PELO MÉTODO DE QUEBRAS MÁXIMAS	29
FIGURA 18 – ONTOLOGIA PARA UM JORNAL, FERRAMENTA PROTÉGÉ-2000.....	32
FIGURA 19 – ARQUITETURA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS	36
QUADRO 1 – EXEMPLOS DE AGENTES E SUA DESCRIÇÃO PAGE.....	39
FIGURA 20 – MODELO DO CICLO DE VIDA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	40
FIGURA 21 – ARQUITETURA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA PROJETO CARTOGRÁFICO.....	44
QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS ESQUEMAS DE CORES DE ACORDO COM NÍVEL DE MEDIDA DO FENÔMENO, FREQUÊNCIA ESPACIAL E TAREFA DE REPRESENTAÇÃO, COM BASE EM PRINCÍPIOS DE PERCEPÇÃO VISUAL.....	46
FIGURA 22 – EXEMPLOS DE ESQUEMAS DE CORES OBTIDOS PELO PRAVDACOLOR.....	48
FIGURA 23 – SISTEMA VIZARD	48
FIGURA 24 – TELA DO PROGRAMA DESCARTES	49
FIGURA 25 – DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO FENÔMENO NO SISTEMA PROPOSTO POR ROBBI	50
FIGURA 26 – FERRAMENTA PARA DEFINIÇÃO DOS SÍMBOLOS.....	51
FIGURA 27 – AÇÕES DO CARTÓGRAFO.....	55
FIGURA 28 – DIAGRAMA REMODELADO.....	56
FIGURA 29 – AÇÃO DE “CRIAR OS SÍMBOLOS”	60
FIGURA 30 – ESTRUTURA ONTOLÓGICA	61
FIGURA 31 – ESPECIFICAÇÃO DO CONCEITO “ATRIBUTOS GRÁFICOS”.....	62
FIGURA 32 – ONTOLOGIA NO PROGRAMA PROTEGE-2000.....	62
QUADRO 3 – DEFINIÇÃO DOS CONCEITOS UTILIZADOS	63
QUADRO 4 – DESCRIÇÃO PAGE PARA O SISTEMA PROPOSTO.....	64
FIGURA 33 – ÁRVORE DE DECISÃO DO SISTEMA IMPLEMENTADO	65
QUADRO 5 – POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE RESPOSTAS DO USUÁRIO.....	66

FIGURA 39 – PONTO ORDINAL OU PONTO NUMÉRICO	66
FIGURA 35 – DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS E SEUS VALORES NO SINTA	67
FIGURA 36 – VARIÁVEIS-OBJETIVO.....	68
FIGURA 37 – INTERFACE DAS PERGUNTAS NO AMBIENTE SINTA	69
FIGURA 38 – INTERFACE DOS RESULTADOS NO SINTA	69
FIGURA 39 – DIAGRAMA DE CLASSES	71
FIGURA 40 – DIAGRAMA DE CLASSES COM ATRIBUTOS E MÉTODOS	73
FIGURA 41 – TELA INICIAL DO SISTEMA.....	74
FIGURA 42 – JANELA DESCRIÇÃO DO MAPA.....	75
FIGURA 43 – JANELA DESCRIÇÃO DO TEMA.....	75
FIGURA 44 – JANELA AVISO	75
FIGURA 45 – JANELA LEGENDA: PONTO NOMINAL.....	76
FIGURA 46 – MAPA EXEMPLO PARA PONTO NOMINAL: REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEL EM CURITIBA.....	77
FIGURA 47 – JANELA ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS GRÁFICOS DE PONTOS.....	77
FIGURA 48 – JANELA LEGENDA: LINHA ORDINAL	78
FIGURA 49 – JANELA ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS GRÁFICOS DE LINHAS.....	78
FIGURA 50 – JANELA LEGENDA ÁREA NUMÉRICO.....	79
FIGURA 51 – JANELA ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS GRÁFICOS DE ÁREAS	79
FIGURA 52 – MAPA EXEMPLO PARA ÁREA NUMÉRICO: TAXA DE NATALIDADE POR ESTADOS DO BRASIL	80
QUADRO 6 – COMPONENTES RGB DOS ESQUEMAS QUALITATIVOS	81
FIGURA 53 – ASPECTO DOS ESQUEMAS QUALITATIVOS UTILIZADOS NO SISTEMA	81
QUADRO 7 – COMPONENTES RGB DOS ESQUEMAS SEQUENCIAIS.....	82
FIGURA 54 – ASPECTO DOS ESQUEMAS SEQUENCIAIS UTILIZADOS.....	83
QUADRO 8 – VARIÁVEIS DA BASE DE CONHECIMENTOS	96

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

CMYK	– Ciano, Magenta, Yellow, black
CRT	– Tubo de Raios Catódicos
HSV	– Hue, Saturation, Value
IA	– Inteligência Artificial
ICA	– International Cartography Association
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM	– International Business Machines
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LCD	– Liquid Crystal Display (mostrador de cristal líquido)
LIA	– Laboratório de Inteligência Artificial
LISP	– LISt Processing (processamento de listas)
MFC	– Microsoft Foundation Library
NYU	– New York University
PAGE	– Percepts, Actions, Goals, Environment
PC	– Personal Computer
PRAVDA	– Perceptual Rule-based Architecture for Visualizing Data Accurately
PROLOG	– PROgramming in LOGic
RGB	– Red, Green, Blue
SE	– Sistema Especialista
SGK	– Schweizerische Gesellschaft für Kartographie
SIG	– Sistema de Informações Geográficas
SINTA	– Sistemas INTeligentes Aplicados
SU	– Stanford University
UFC	– Universidade Federal do Ceará
UFRGS	– Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UML	– Unified Modeling Language

RESUMO

Esta pesquisa avalia a aplicação de técnicas de sistemas baseados em conhecimento nas diversas etapas do projeto cartográfico temático, e propõe um sistema de apoio à decisão que ajuda o usuário a escolher adequadamente as variáveis visuais utilizadas na representação de um fenômeno e a definir a linguagem cartográfica. As decisões são baseadas em conceitos de projeto cartográfico temático e na percepção humana das diferentes formas de visualização. Com o objetivo de avaliar as regras necessárias para esta tarefa, foi construído um protótipo no ambiente Expert SINTA/DISE, disponibilizado pela Universidade Federal do Ceará. Esta ferramenta utiliza um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e fatores de confiança. Para fornecer o vocabulário adequado para a construção das regras da base de conhecimento, foi utilizada uma ontologia, que define e relaciona os conceitos de projeto cartográfico temático envolvidos na tomada de decisão. Esta ontologia foi construída com o auxílio da ferramenta Protégé-2000, desenvolvida na Universidade de Stanford (Estados Unidos). O sistema final para a definição da linguagem cartográfica foi implementado no ambiente Microsoft Visual C++, utilizando a biblioteca MFC (Microsoft Foundation Classes) para a construção das interfaces. Com o auxílio de um sistema baseado em conhecimento, o usuário pode ser guiado pelo aplicativo computacional a seguir as etapas de um projeto cartográfico de qualidade, com algumas soluções “default” satisfatórias. Com a utilização da linguagem cartográfica sugerida pelo sistema, o usuário pode produzir mapas com melhor poder de representação do fenômeno, possibilitando sua análise por planejadores e demais usuários. Ainda se pode esperar mapas com maior possibilidade de revelar conhecimento, ou seja, padrões espaciais que só se tornam visíveis quando a informação é visualizada. Além disso, a formalização do conhecimento cartográfico, poderá auxiliar no desenvolvimento de bases de conhecimento para, por exemplo, generalização automática e múltiplas representações em bancos de dados geográficos.

ABSTRACT

This research evaluates the application of knowledge-based system techniques on some stages of thematic map design, and proposes a decision support system to help users to define the suitable visual variables for a cartographic language in order to represent a geographic phenomenon. The decisions are based on thematic map design concepts and human visual perception. In order to evaluate the necessary rules that underlie the system decisions, a prototype was built using the Expert Sinta environment, developed in the Federal University of Ceará. This environment uses a knowledge representation model based on production rules and confidence rates. An ontology was used to establish the suitable vocabulary for building the knowledge base rules. This ontology defines the thematic map design concepts and their connections. It was built with Protégé-2000 software, developed by the Stanford University (USA). The system for cartographic language definition was implemented in Microsoft Visual C++ and the MFC (Microsoft Foundation Classes) library was used to build the dialogs. The knowledge-based system guides the user through the stages of a good quality map design with some suitable default solutions. Using the cartographic language suggested by the system, the user can build better maps and a more powerful phenomenon representation, from which planners and other users can develop better and broader spatial analysis. Maps with greater possibility to reveal knowledge are also expected. Besides, the formalization of cartographic knowledge can support the development of other knowledge bases, such as bases for automatic generalization and multiple representation in geographic databases.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema baseado em conhecimento para auxílio no projeto de símbolos cartográficos em mapas temáticos. O sistema proposto pode ser utilizado de forma eficiente tanto por cartógrafos quanto por usuários não especializados em cartografia temática. Entretanto, é para os leigos que o sistema pode fornecer resultados mais significativos.

O gerenciamento de recursos e o planejamento de ações são tarefas que demandam, sobretudo, conhecimento. Para quem toma as decisões, ter acesso às informações rapidamente e de forma clara e precisa é fundamental. Os mapas são importantes ferramentas para os profissionais ligados ao planejamento, em geral. Eles mostram como um fenômeno se comporta espacialmente dando ao gestor uma rápida noção de sua distribuição e localização. Neste tipo de aplicação, é comum que o mapa seja gerado a partir de dados em um sistema de informações geográficas (SIG) pelo próprio usuário que, em geral, possui poucos conhecimentos em cartografia temática. O resultado são mapas com pouca qualidade, pouco poder de comunicação, muitas vezes mascarando, ao invés de enfatizar, aspectos relevantes na distribuição espacial do fenômeno (ROBBI, 2000). Torna-se então apropriado que o SIG ou sistema de visualização possua recursos para auxiliar o usuário na construção de mapas, de acordo com os conceitos de comunicação cartográfica.

Apesar da importância da operação de escolha de cores na visualização de mapas, a criação e a seleção de esquemas de cores não são suportadas adequadamente na maioria dos pacotes computacionais cartográficos, que tipicamente oferecem uma solução “default” única, para todos os tipos de mapas, e algumas ferramentas para personalizar o esquema de cores. Estes sistemas não auxiliam o usuário na seleção de qual esquema de cores o ajudará a entender a estrutura dos dados, segmentar os dados de forma significativa ou enfatizar características importantes dos dados (BERGMAN; ROGOWITZ; TREINISH, 1995, p. 119).

Os aplicativos computacionais gráficos permitem ao usuário adicionar texto e molduras, projetar e criar símbolos, selecionar e utilizar cores e padrões de sombreamento, adicionar notas ou legendas, entre outras operações. A possibilidade que os usuários não treinados possuem de criar novos tipos de mapas contribuiu para o desenvolvimento, por exemplo, de mapas para ilustração e que utilizam uma imagem no fundo. As tecnologias disponíveis oferecem um espaço para experimentação e inovação, e permitem que praticamente qualquer pessoa possa projetar, criar e produzir um mapa. Frequentemente, são obtidos gráficos visualmente bonitos ao invés de um meio de comunicação eficiente (GREEN, 1993, p. 1011).

Para que a comunicação cartográfica seja melhorada, um nível maior de automatização de decisões pode ser incluído neste tipo de aplicativo. Neste trabalho, uma revisão bibliográfica sobre projeto cartográfico temático é apresentada no Capítulo 2. O Capítulo 3 mostra algumas técnicas de sistemas baseados em conhecimento, e o Capítulo 4 descreve algumas aplicações destas técnicas em projeto de mapas disponíveis na literatura.

O Capítulo 5 descreve a metodologia utilizada nesta pesquisa. Na Seção 5.1, as etapas do projeto cartográfico temático são analisadas e é avaliado seu “potencial para automatização”. O propósito da apresentação de dados geográficos é facilitar o entendimento e a interpretação de dados espaciais e resolver problemas com o seu uso. Para que os dados espacialmente referenciados sejam analisados, é necessário que sejam apresentados em um mapa. O mapa deve ser projetado de forma adequada às características dos dados. Cada método de apresentação impõe certas limitações nos dados aos quais podem ser aplicados (ADRIENKO; ADRIENKO, 1999, p. 355). Para avaliar a influência das características das informações temáticas sobre a escolha da melhor forma de mapeamento, foi construída uma ontologia do domínio do projeto cartográfico temático, que é apresentada na Seção 5.2.

Por outro lado, um sistema automático para a construção de mapas exige um alto grau de interação com o usuário para gerar produtos de qualidade aceitável.

Muitos aspectos do processo cartográfico demandam julgamento e aplicação de princípios estéticos (BUTTENFIELD; MARK, 1994, p. 129), que são subjetivos e dependem de decisões tomadas interativamente pelo usuário durante o processo de construção do mapa. Para que esta interação seja minimizada e restrita aos aspectos mais relevantes, um sistema inteligente pode fornecer suporte ao seu operador, apresentando soluções satisfatórias por “default”. Um sistema baseado em conhecimento oferece ao usuário decisões baseadas nas características do fenômeno a ser mapeado, ao invés da usual solução padrão que pretende ser adequada para a maioria dos casos. Além disso, a utilização deste tipo de sistema é amigável e pode, quando solicitado, oferecer explicações sobre as decisões tomadas. O protótipo de um sistema baseado em conhecimento, apenas para a definição da linguagem cartográfica, é apresentado na Seção 5.3.

Para que as decisões sugeridas pelo sistema pudessem ser avaliadas por especialistas e usuários, o sistema foi implementado em Visual C++ (GREGORY, 1998), utilizando a biblioteca MFC (*Microsoft Foundation Classes*) para a construção da interface gráfica. As classes foram construídas a partir da ontologia, utilizando a linguagem de especificação UML (*Unified Modeling Language*) (FURLAN, 1998) e sua implementação está descrita no Capítulo 6. O Capítulo 7 apresenta algumas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2 PROJETO CARTOGRÁFICO TEMÁTICO

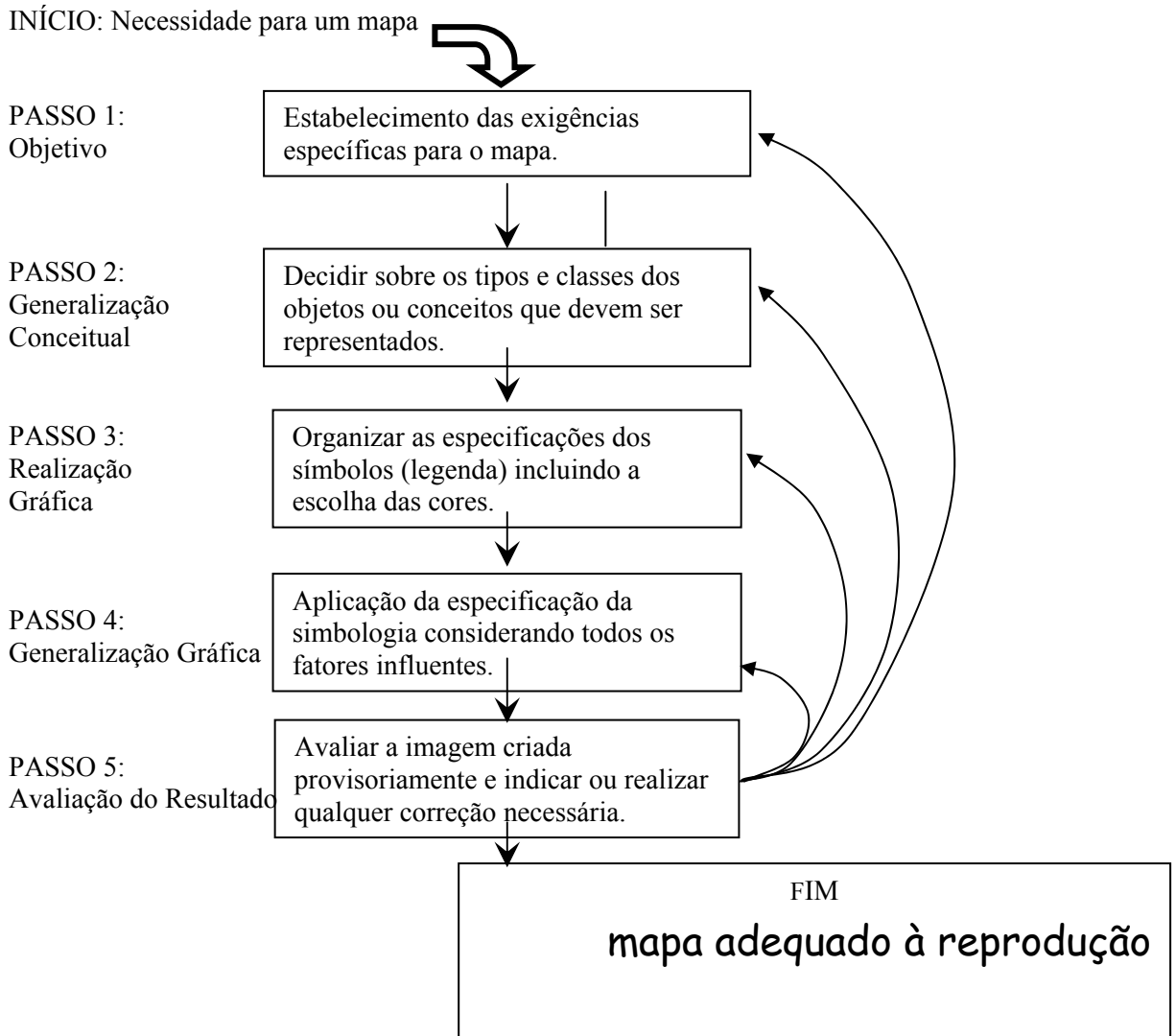
Um mapa pode ser definido como uma representação gráfica do ambiente físico e cultural (DENT, 1999, p. 4), ou como uma visão abstrata de uma parte do mundo com ênfase em feições selecionadas, que pode ter o objetivo de exploração, confirmação, síntese ou apresentação de dados espaciais (MACEACHREN, 1994, p. 1). Além disso, um mapa é um meio de comunicação visual que tenta transmitir ao seu usuário a imagem ou síntese de uma abstração da realidade, envolvendo o posicionamento (localização) de alguma feição ou fenômeno. Como um processo de comunicação visual (KEATES, 1988, p. 3), a utilização de um mapa consiste em um processo de percepção visual, que envolve um estímulo, um receptor e uma resposta, que é o significado percebido pelo usuário a respeito das informações representadas no mapa.

O projeto de mapas inclui todo o processo através do qual os mapas são construídos. Este processo envolve a abstração e a representação de detalhes do mundo real (BUTTENFIELD; MARK, 1994, p. 135). A Sociedade Suíça de Cartografia (Schweizerische Gesellschaft für Kartographie – SGK) desenvolveu um diagrama (Figura 1) que contém as etapas para o desenvolvimento de um projeto cartográfico para mapas topográficos (SGK, 1977, p. 16). As tarefas incluem a definição do objetivo do mapa, a coleta do material-fonte, a atualização da base cartográfica, a escolha da escala adequada ao propósito do mapa, a classificação das informações, a especificação dos símbolos, a generalização gráfica e a avaliação do resultado.

Inicialmente, o cartógrafo deve definir as necessidades do usuário do mapa. O cartógrafo deve conhecer para que e como o usuário vai utilizar o mapa. O primeiro passo é constituído pelo “estabelecimento das exigências específicas para o mapa” (Figura 1). Nesta etapa, deve ser definida a *escala do mapa*, em função do menor detalhe que o usuário precisa visualizar. Também é importante pesquisar o *material-fonte*, ou seja, onde e como serão obtidas as informações que serão representadas.

Ainda deve ser verificado se é necessário realizar alguma *atualização* na base cartográfica a ser utilizada.

FIGURA 1 – DIAGRAMA DE PROJETO E PRODUÇÃO DE MAPAS TOPOGRÁFICOS DA SOCIEDADE SUÍÇA DE CARTOGRAFIA



FONTE: SGK, 1977, p.16

NOTA: Adaptado pela autora.

No segundo passo, a *Generalização Conceitual*, é necessário “decidir sobre os tipos e classes dos objetos ou conceitos que devem ser representados” (Figura 1). Esta etapa envolve a classificação das informações e a determinação de sua dimensão espacial e nível de medida. A seguir, na *Realização Gráfica*, deve-se “organizar as especificações dos símbolos (legenda) incluindo a escolha das cores” (Figura 1).

A *Generalização Gráfica* consiste na “aplicação da simbologia considerando todos os fatores influentes”. Deve-se considerar especialmente a seleção apropriada dos objetos do material-fonte e a representação dentro de uma tolerância posicional correspondente aos objetivos do mapa. Finalmente, deve-se “avaliar a imagem criada provisoriamente e indicar ou realizar qualquer correção necessária” (SGK, 1977, p. 16).

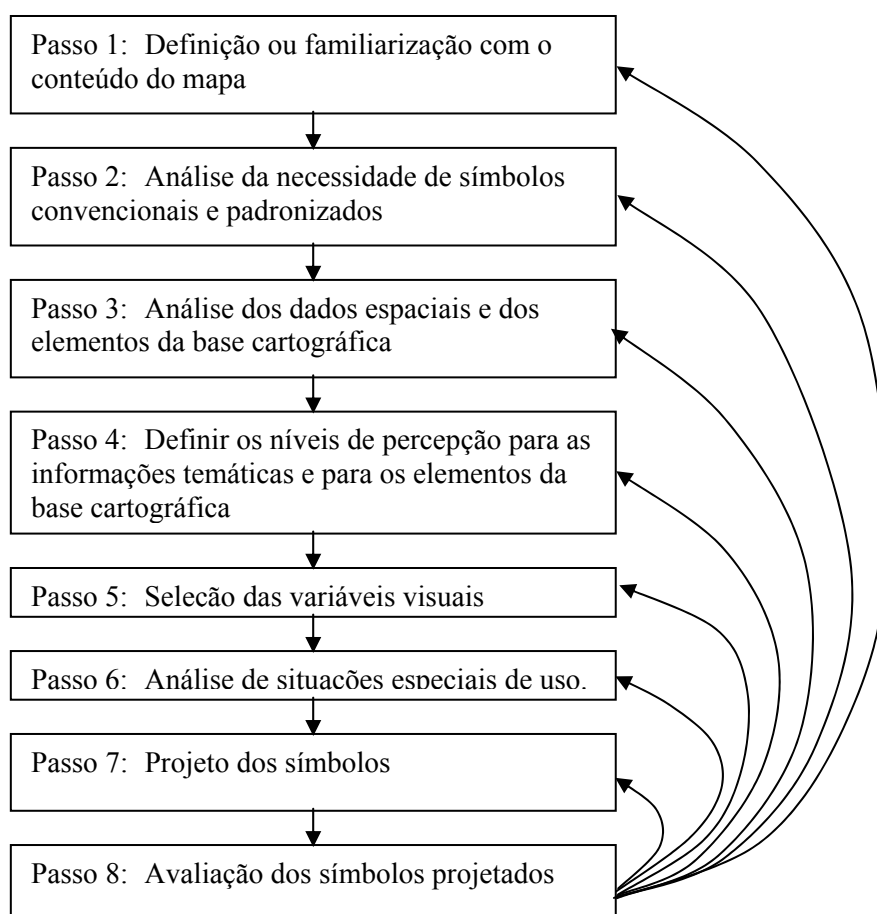
Esta seqüência de tarefas foi elaborada para a produção de mapas em papel. Para o caso dos mapas a serem visualizados na tela do computador, algumas outras etapas tornam-se relevantes. Como citam BUTTENFIELD e MARK (1994, p. 137), a generalização cartográfica automática é importante para suportar análise em diversas escalas, e para a visualização a partir de um único banco de dados. O espaço para a apresentação do mapa é limitado e reduzido, e a capacidade de percepção das cores por parte do usuário é diferente em relação aos mapas em papel. Além disso, em um sistema computacional, a projeção cartográfica pode ser escolhida no momento da apresentação.

BOS (1984, p. 83-85) apresenta um diagrama que representa em detalhes a tarefa de projeto dos símbolos (Figura 2). BOS (1984, p.82) afirma que o projeto de símbolos não é um evento intuitivo ou artístico, mas deve ser visto como um processo intelectual, consistindo de uma série de passos que seguem uma ordem lógica.

O objetivo do mapa representa um papel fundamental em todas estas etapas. No primeiro passo, o cartógrafo deve estar familiarizado com o objetivo e o conteúdo do mapa para que possa definir o tamanho do mapa, a escala e a projeção a ser utilizada. O mapa não deve incluir informações que não sejam fundamentais para o seu objetivo, pois isso provoca confusão e poluição visual, interferindo na percepção das informações temáticas relevantes. O segundo passo é importante pois, se um mapa pode ser projetado com símbolos padronizados, não há razão para que novos símbolos sejam projetados. Caso esta solução seja suficiente para representar todas as informações presentes no mapa, o projeto chega ao fim. Caso contrário, novos

símbolos devem ser projetados para as informações restantes.

FIGURA 2 – DIAGRAMA DE PROJETO DE SÍMBOLOS



FONTE: BOS, 1984, p. 83-85

NOTA: Adaptado pela autora.

A análise dos dados espaciais do terceiro passo deve incluir a análise da informação a ser visualizada, o tema, quanto à dimensão espacial, quanto à classificação e quanto ao nível de medida do fenômeno. Segundo MACEACHREN (1994, p. 40), a classificação, que é a definição das classes ou categorias representadas no mapa, resulta da definição do nível de abstração para a representação dos dados. Um dos resultados desta etapa são os níveis de percepção necessários para cada elemento a ser representado. KEATES (1988, p.30) define esta propriedade como a determinação dos níveis visuais presentes no mapa. Os símbolos que representam as informações mais relevantes para o tema devem possuir maior ênfase visual e ser de mais fácil visualização pelo usuário que as feições que apenas auxiliam na sua

localização geográfica. Estas devem aparecer no mapa apenas como um “segundo plano”, apresentando um nível visual inferior.

Um mapa não está completo se não estiver relacionado com uma base topográfica de referência, cujo conteúdo depende do objetivo do mapa e das próprias informações temáticas. Embora, em geral, os elementos da base terão níveis de percepção mais baixos que os elementos do tema, pode haver certa variação no nível de percepção dos elementos da base, dependendo de sua função em relação ao tema.

O quinto passo é a escolha das variáveis visuais, que representarão a variação do fenômeno. BOS (1984, p.85) prevê a análise de situações especiais de utilização do mapa, como situações de iluminação específica, mapas mostrados na televisão, utilização em veículos em movimento e outras. Após estas análises pode-se realizar o projeto de símbolos propriamente dito.

Também nesta proposta o processo termina com a avaliação dos símbolos projetados. Devem ser avaliadas a visibilidade e legibilidade, ou seja, se os símbolos são adequadamente perceptíveis e se podem ser distinguidos e identificados pelo usuário. Além disso, os símbolos devem ser analisados já em sua aplicação no mapa, em conjunto com os outros símbolos. A interação entre todos os símbolos do mapa deve ser analisada em relação à mensagem que o mapa deve transmitir.

2.1 LINGUAGEM CARTOGRÁFICA

O símbolo, no projeto cartográfico, é definido por uma marca gráfica e um significado a ela atribuído. Este significado é transmitido ao usuário através da legenda. Conceitos que apresentam diferenças significativas devem ser representados por símbolos significativamente diferentes e conceitos próximos, por símbolos similares. Portanto, a escolha da linguagem utilizada é um passo importante no projeto cartográfico.

Algumas preocupações básicas devem nortear a escolha dos símbolos

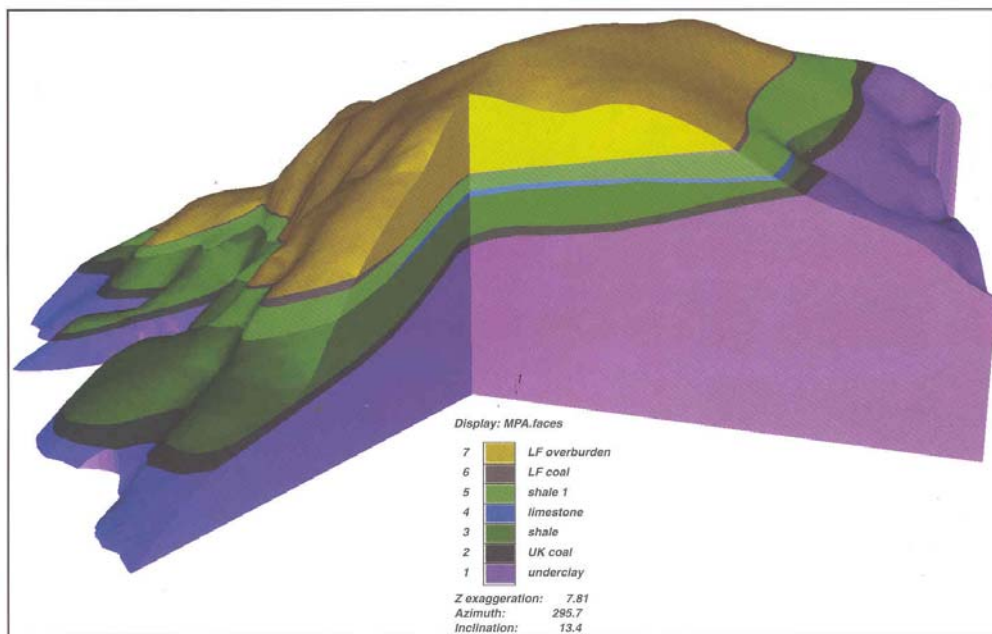
cartográficos. Como o objetivo do cartógrafo é transmitir informação através do mapa, a escolha dos símbolos deve facilitar a percepção e entendimento desta mensagem por parte do usuário (ROBBI, 2000, p. 43). Assim, deve-se considerar aspectos como a percepção visual das cores, a visibilidade (dimensão mínima) dos símbolos utilizados, adequado nível de contraste (diferenciação) entre diferentes símbolos e a familiaridade que o usuário possa ter com alguma representação gráfica. Esta última pode ser exemplificada com o uso de símbolos pictóricos, como uma árvore ou um avião, e também pela utilização da cor azul para representar a água e verde para vegetação. Para garantir a comunicação, todos os símbolos devem ser identificados sem esforço ou ambigüidade, onde quer que ocorram (KEATES, 1988, p. 10). É necessário que o usuário perceba quando dois símbolos são idênticos, mas também é importante a percepção de símbolos similares mas ligeiramente diferentes. KEATES (1988) define três modos de percepção indispensáveis ao bom uso do mapa: *identificação*, *discriminação* e *reconhecimento*. A *identificação* é a distinção de um símbolo entre todos os outros, e está relacionada com a visibilidade da marca gráfica. A *discriminação* consiste em perceber duas imagens como correspondentes ao mesmo símbolos, quando estas ocorrem em diferentes locais no mapa. Alguns fatores influenciam nesta modalidade de percepção, como a cor do fundo sobre o qual o símbolo está aplicado e a cor e o tamanho do símbolo em si. O *reconhecimento* é a associação da marca gráfica com o significado, e sua eficiência está relacionada com a familiaridade e experiência do usuário do mapa.

O passo chave para projetar e construir um mapa inteligível é equiparar o tipo de contraste entre os símbolos, com o tipo de contraste dos objetos ou conceitos representados (MACEACHREN, 1994, p.13). Para isso, é necessário considerar: a dimensão espacial das feições mapeadas, o nível de medida do fenômeno e as primitivas gráficas que serão utilizadas para representar as feições (MACEACHREN, 1994, p. 13-14).

A definição da dimensão geográfica do fenômeno depende da escala de

representação. Uma cidade pode ser representada como uma área em uma escala grande, como um ponto em uma escala menor, ou nem ser representada em uma escala muito pequena. Um fenômeno é considerado pontual quando, para determinada escala, não há necessidade de representar sua dimensão. É linear quando é representado o seu comprimento, mas não a largura, e é um fenômeno de área quando são representados comprimento e largura (DENT, 1999, p.73). Os fenômenos volumétricos são atualmente agrupados em dois tipos: fenômenos 2½ D e fenômenos 3D verdadeiro. Fenômenos 2½ D são as superfícies, reais ou numéricas, como relevo, temperatura ou índices pluviométricos. Um fenômeno é 3D verdadeiro se representa um volume, ou seja, os valores do fenômeno variam de acordo com posições tridimensionais, como a composição do solo mostrada na Figura 3 (SLOCUM, 1999, Color Plate 2.1).

FIGURA 3 – MODELO DE FENÔMENO 3D VERDADEIRO



FONTE: SLOCUM, 1999, Color Plate 2.1.

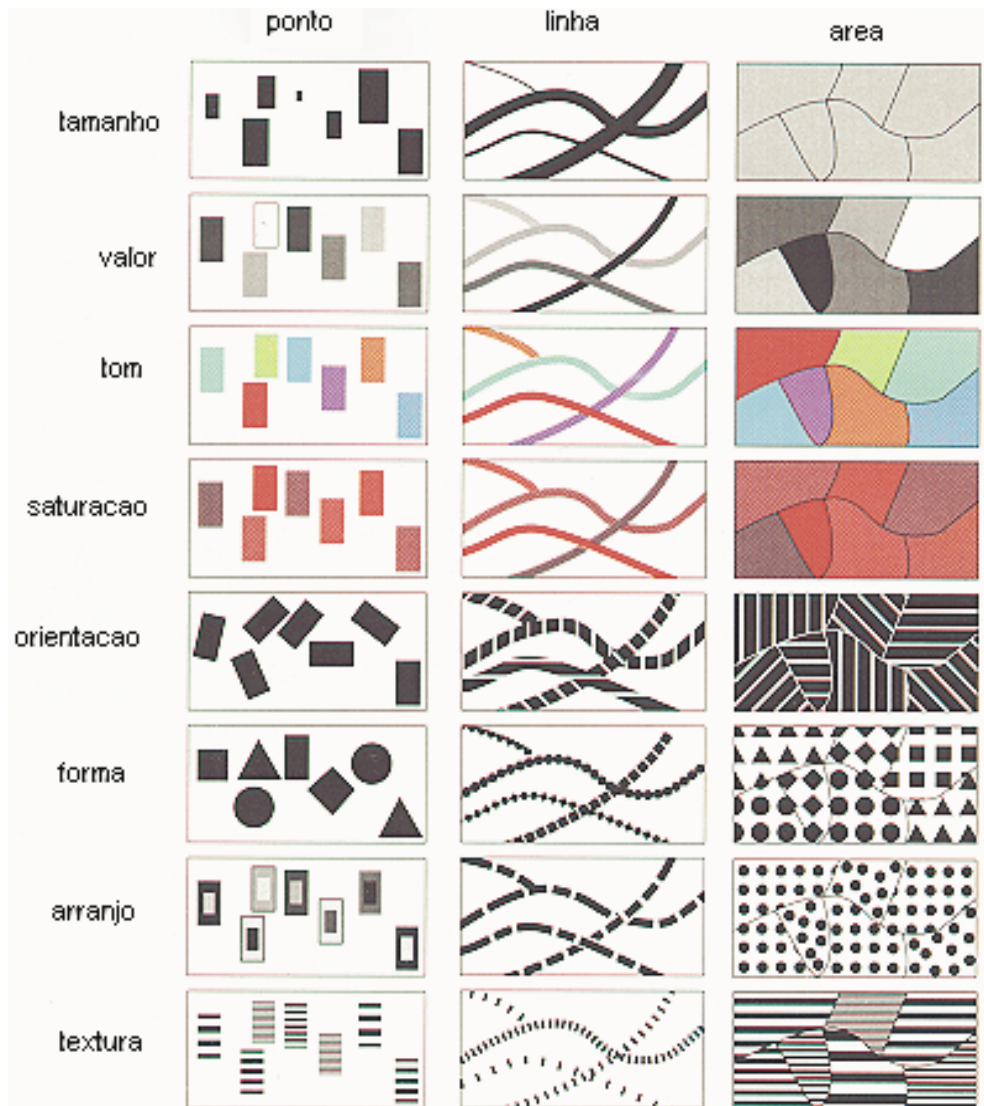
Após a determinação da dimensão espacial do fenômeno, é necessário determinar seu nível de medida, que pode ser nominal, ordinal, intervalar ou de razão. No nível de medida nominal, os dados são agrupados em categorias distintas. De acordo com suas semelhanças e diferenças, são agrupados em classes, mas não é observada nenhuma ordem específica entre as classes. Mapas de uso do solo, partidos

dos governadores mapeados por estado ou terras indígenas pertencentes a diferentes tribos são exemplos de mapas com fenômenos de nível nominal. No nível ordinal, os dados são categorizados e ordenados. Por exemplo, estradas pavimentadas e não-pavimentadas. Caso exista uma indicação explícita da diferença numérica entre duas classes, a medida é intervalar, como num mapa de temperaturas médias em graus centígrados. No nível de medida de razão, os dados são categorizados, ordenados, indicados numericamente e a escala numérica tem um ponto zero não arbitrário. Um exemplo é um mapa de densidade populacional, em que o valor zero indica a ausência de população. Assim, os níveis de medida podem ser considerados progressivos: todos os fenômenos possuem o nível nominal, pois representam diferentes classes; destes, alguns podem ser ordinais, por estar definida uma ordem entre as classes; se esta ordem se dá numericamente, o nível é intervalar e se existe uma proporção entre os números considerados, é uma medida de razão (SLOCUM, 1999, p. 20-22).

As variáveis visuais são as variações das primitivas gráficas ponto, linha e área. A comunicação eficiente da informação cartográfica depende da relação adequada entre o nível de medida e as variações da primitiva gráfica (ROBBI, 2000, p. 14). Algumas das variáveis visuais, cujas aplicações sobre as primitivas gráficas são mostradas na Figura 4, são: tamanho, forma, valor ou luminosidade de cor, tom de cor, saturação de cor, orientação, arranjo e textura (MACEACHREN, 1994, p. 17). O tom de cor é a variação qualitativa da cor, definido pelo seu comprimento de onda no espectro visível (MACEACHREN, 1994, p. 23). A luminosidade ou valor de cor é a quantidade de luz branca incidente na cor. A saturação é o quanto a cor se afasta da cor neutra (cinza). Quanto mais saturada a cor, menos presença de branco ou preto (cinza) (DENT, 1999, p. 293). A textura pode ser definida como a frequência espacial dos componentes de um padrão, marcas gráficas pontuais ou lineares, e o arranjo, como alterações na posição relativa destas marcas gráficas. Quando o arranjo é aplicado em áreas, a posição relativa pode variar de regular a aleatória (MACEACHREN, 1994, p. 27). Para mapas visualizados na tela do computador, ROBBI (2000, p. 131)

desaconselha o uso da variável arranjo e textura para a primitiva ponto, textura e orientação para fenômenos lineares e também de forma, tamanho e arranjo para fenômenos de área. ROBBI (2000) define textura nominal como a variação nos padrões que ocorre sem alterar a relação entre área impressa e fundo. Caso esta relação seja alterada, por exemplo com o aumento progressivo da área impressa, tem-se a textura ordinal.

FIGURA 4 – APARÊNCIA DAS VARIÁVEIS VISUAIS PARA CADA PRIMITIVA GRÁFICA



FONTE: MACEACHREN, 1994, adaptado por ROBBI, 2000, p. 45

A definição da variável visual está diretamente ligada ao nível de medida do fenômeno (Figura 5). Para o nível de medida nominal, as variáveis visuais mais

indicada são tom de cor, textura, orientação e forma. Para fenômenos ordinais, deve-se utilizar preferencialmente variações em tamanho, valor de cor e saturação de cor, e para os fenômenos numéricos, tamanho é a melhor opção. A Figura 5, entretanto, não considera a aplicação sobre as primitivas gráficas. Por exemplo, a variável tamanho não pode ser aplicada sobre fenômenos representados como área. Para estes, pode ser utilizada alguma variável visual com efeito marginal, como valor de cor ou saturação de cor. O efeito, neste caso, será a percepção apenas da ordem entre os valores numéricos, mas não a sua proporção.

FIGURA 5 – VARIÁVEIS GRÁFICAS ADEQUADAS AOS NÍVEIS DE MEDIDA

	numérico	ordinal	nominal
localização	B	B	B
tamanho	B	B	P
valor de cor	M	B	P
saturação de cor	M	B	P
tom de cor	M ^a	M ^a	B
textura	M	M	B ^b
orientação	M ^c	M ^c	B
arranjo	P	P	M ^d
forma	P	P	B

B = bom M = efeito marginal P = pobre

FONTE: MACEACHREN (1994) adaptada por ROBBY (2000, p. 46)

^a Os tons devem ser cuidadosamente selecionados para que uma ordem ou hierarquia seja percebida (p.ex. a seqüência espectral do amarelo, passando pelo laranja, ao vermelho).

^b As texturas são boas para diferenciar somente duas, ou talvez três, categorias.

^c A orientação fornece capacidade limitada para comunicar informações numéricas e ordinais, quando são usadas marcas padronizadas, tais como um símbolo do relógio para comunicar informações sobre períodos de tempo da ocorrência do fenômeno, uma bandeira para indicar as direções do vento, ou flechas para indicar direções das declividades do terreno.

^d A variável arranjo é melhor utilizada como uma variável redundante, para representar a diferença visual entre as categorias mais óbvias.

Após a escolha da variável visual, algumas recomendações ainda podem ser destacadas. Quando são utilizados diferentes tons de cor, todos devem apresentar a mesma luminosidade. Ao se trabalhar com nível de medida ordinal, o número de classes necessárias para representar um fenômeno deve influenciar na escolha do tom de cor, que sofrerá variação em luminosidade. Cores como o amarelo não permitem a diferenciação em mais que três ou quatro valores, ao contrário do azul ou vermelho. A capacidade de percepção das cores pelo olho humano oferece uma base teórica para a automatização deste tipo de decisão. A teoria dos processos oponentes (HERING, 1978 apud SLOCUM, 1999, p. 86-87) estabelece que a percepção das cores é baseada em três canais: um canal claro-escuro e dois com os pares de cores contrastantes vermelho-verde e azul-amarelo. Enquanto é possível perceber misturas de cores de canais diferentes, como vermelho-azul, vermelho-amarelo, verde-azul e verde-amarelo, cores do mesmo canal trabalham em oposição entre si, ou seja, não se misturam em nossa retina. O contraste existente entre tais combinações faz com que sejam apropriadas para a representação de dados bipolares, ou seja, que possuem um ponto de divisão significativo, como temperaturas positivas e negativas, ou valores abaixo e acima da média.

BREWER (1999) apresenta esquemas de cores construídos a partir do sistema de cores Munsell de forma a maximizar a qualidade da percepção do usuário. BREWER (1999, p.59) afirma que a construção de esquemas de cores através de caminhos sistemáticos nos sistemas de cores produz esquemas de cores com características perceptivas predefinidas.

Os esquemas de cores disponibilizados no sistema ColorBrewer estão classificados em três tipos: qualitativo, seqüencial, e divergente (BREWER, 1999, p. 56-57). O tipo qualitativo corresponde ao nível de medida nominal. O seqüencial pode ser aplicado aos níveis ordinal e numérico. Os esquemas divergentes devem ser aplicados aos fenômenos numéricos que possuem um ponto central significativo, como temperaturas positivas e negativas, ou valores acima ou abaixo da média.

Após escolher o tipo do esquema de cores desejado e o número de classes a serem representadas, o sistema ColorBrewer apresenta diversas opções de esquemas de cores com as características desejadas. Ao selecionar um esquema específico, são exibidos símbolos indicando sua adequação aos diversos meios de comunicação do mapa, como papel, monitor CRT (PC), monitor LCD (laptop) e projetores, além de indicar se os esquemas são adequados para fotocópias (em níveis de cinza) e se a capacidade de percepção por parte de pessoas com dificuldades de percepção de cores (daltônicas) é apropriada. Também são exibidos os valores RGB para cada cor componente do esquema.

2.2 MÉTODOS DE REPRESENTAÇÃO TEMÁTICA

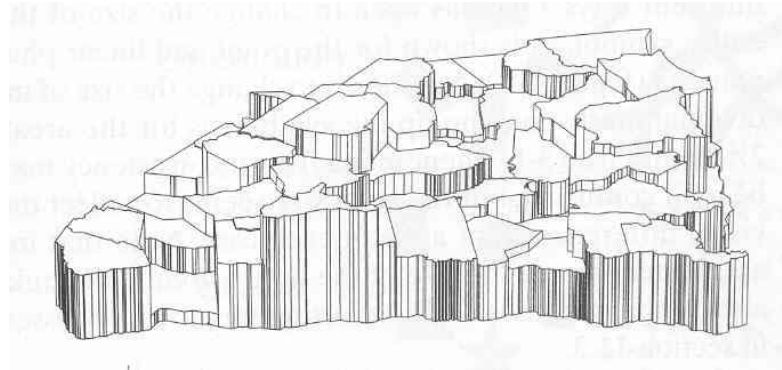
2.2.1 Mapas coropléticos

Segundo a definição da ICA, *International Cartography Association*, os mapas coropléticos são “um método de representação cartográfica que emprega cores distintas ou sombreados aplicados a áreas diferentes daquelas limitadas por isolinhas. Estas são normalmente áreas estatísticas ou administrativas” (DENT, 1999, p. 139). Outras variáveis visuais, como textura ou arranjo, também pode ser utilizadas. Esta técnica de mapeamento só deve ser utilizada se os dados forem apropriados para este propósito: a dimensão do fenômeno deve ser área e os dados devem ter sido coletados por unidade de enumeração, tais como municípios, estados ou zonas censitárias (SLOCUM, 1999, p. 25).

Mapas coropléticos representando dados numéricos podem ser vistos como uma representação tridimensional dos valores dos dados (Figura 6). Neste modelo, cada unidade de área é um prisma elevado verticalmente em proporção ao valor representado. A visão planimétrica deste prisma simboliza estas alturas por meio de cor ou sombreados. Em mapeamentos monocromáticos, os prismas mais altos são

normalmente representados por símbolos de área mais escuros, ou seja, as áreas recebem sombreamento em quantidade proporcional ao valor associado (SLOCUM, 1999, p. 25). O princípio do mapeamento coroplético é que o valor do fenômeno está uniformemente distribuído dentro da unidade de enumeração. O topo de cada prisma é horizontal. Caso o valor do fenômeno seja variável dentro da unidade de enumeração, isto não será percebido com o uso da técnica coroplética (DENT, 1999, p. 141).

FIGURA 6 – MODELO COROPLÉTICO 3D



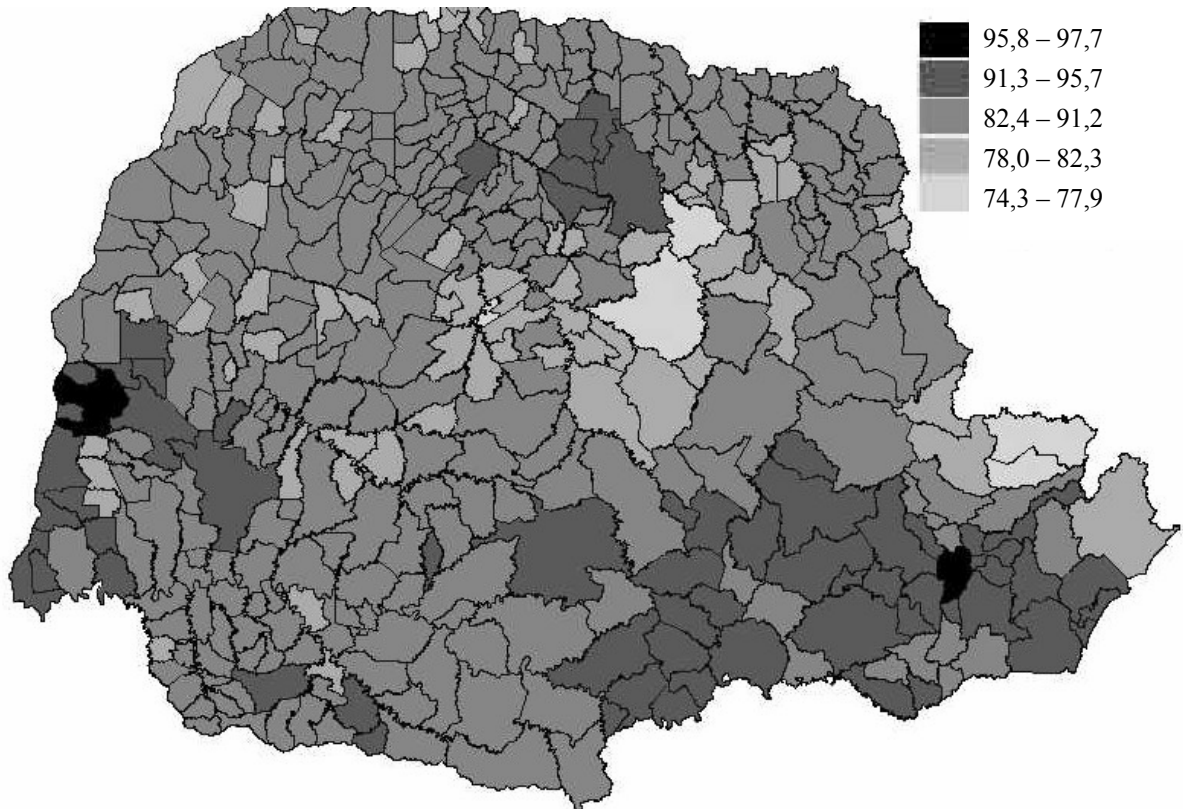
FONTE: SLOCUM, 1999, p. 21

Segundo DENT (1999, p. 140) fenômenos geográficos que são por natureza contínuos não devem ser mapeados com esta técnica, pois sua distribuição não é controlada por divisões político-administrativas. Além disso, o uso de valores totais deve ser evitado, pois na maioria das aplicações o tamanho variável das unidades administrativas pode alterar a percepção da distribuição do fenômeno, mascarando, por exemplo, distribuições uniformes. Assim, uma importante etapa na construção deste tipo de mapas é a padronização dos dados, na qual dados totais são ajustados para os diferentes tamanhos das unidades de enumeração (SLOCUM, 1999, p. 25).

Utilizando os conceitos de linguagem cartográfica, a escolha da variável visual a ser utilizada no mapeamento coroplético deve se basear na idéia do prisma, ou seja, deve representar o valor do fenômeno. A escolha mais indicada é a variação em luminosidade ou saturação, preferencialmente da cor neutra, ou seja, variações de cinza do preto ao branco, ou em outro tom adequado ao número de classes utilizado. A Figura 7 mostra um mapa coroplético que representa a porcentagem de pessoas

alfabetizadas nos municípios do estado do Paraná no qual foi utilizada a cor neutra para representar cinco classes do fenômeno.

FIGURA 7 – MAPA COROPLÉTICO: PORCENTAGEM DE PESSOAS ALFABETIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ EM TONS DE CINZA



FONTE: GERADO A PARTIR DE DADOS DO CENSO IBGE 2000.

Caso isto não seja possível, pode-se utilizar a variação em textura ordinal (ROBBI, 2000, p. 131), ou seja, variável em espaçamento das marcas gráficas. A visualização do modelo tridimensional não é indicada, pois, além de dificultar a percepção da real diferença entre os valores, prismas mais altos podem esconder os mais baixos. SLOCUM (1999, p. 29) sugere que isto pode ser resolvido em ferramentas interativas através da rotação do modelo pelo usuário. Mas acrescenta que isto pode gerar dificuldades para o usuário, que em geral está acostumado a ver o norte na parte de cima. A utilização de tom de cor deve ser utilizada com cuidado, e apenas com seqüências criteriosamente escolhidas, como amarelo-laranja-vermelho.

2.2.2 Mapas de símbolos pontuais proporcionais

Neste tipo de mapeamento, dados numéricos são associados a elementos pontuais. Estes podem ser dados pontuais reais, ou seja, que foram medidos para uma localização pontual, ou dados pontuais conceituais, que dizem respeito a uma área, mas que serão representados em um determinado ponto para efeito de simbolização (SLOCUM, 1999, p. 26). Podem ser mapeados dados totais, razões ou porcentagens, sendo a técnica adequada sempre que se deseja mostrar relações comparativas entre as magnitudes do fenômeno em localizações específicas (DENT, 1999, p. 174).

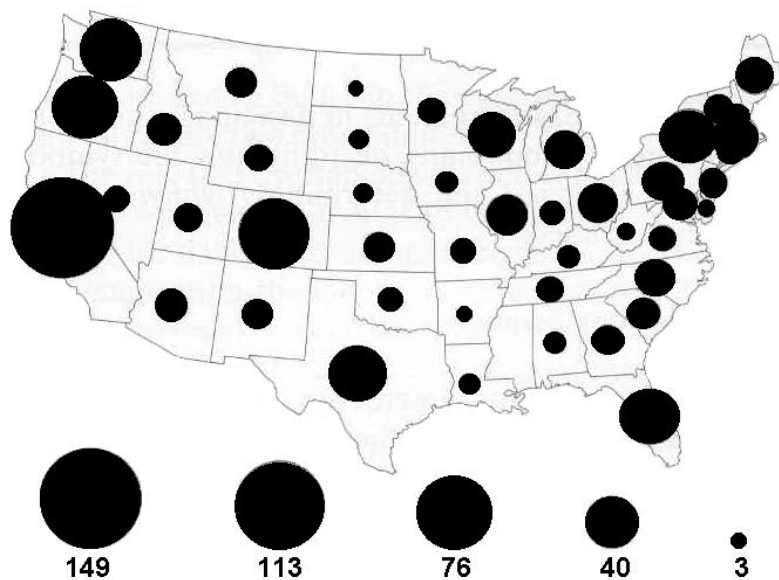
Os símbolos utilizados podem ser geométricos, tais como círculos, quadrados ou triângulos, ou pictográficos, como árvores ou pessoas. Estes últimos são mais facilmente identificáveis pelo usuário, além da visualização mais agradável. Entretanto, dificultam a percepção dos tamanhos relativos entre os símbolos, principalmente no caso de sobreposição (SLOCUM, 1999, p. 121). Entre os símbolos geométricos, círculos devem ser preferidos, pois sua forma geométrica é mais compacta e visualmente mais estável que outras formas (DENT, 1999, p. 175).

A determinação da área dos símbolos pontuais pode ser realizada de diversas maneiras. No dimensionamento matemático ou absoluto, mostrado na Figura 8, o tamanho das áreas varia proporcionalmente ao valor do fenômeno. Ou seja, os dados são representados sem classificação. Entretanto, a percepção humana da variação da área dos símbolos não é acurada, pois existe uma tendência para subestimar áreas maiores. Assim, correções destes valores podem ser utilizadas (SLOCUM, 1999, p. 127).

Outra abordagem é considerar os dados classificados, ou seja, divididos em intervalos cujos valores serão representados por símbolos de mesma dimensão, como na Figura 9. Existem tabelas de tamanhos padronizados para este propósito, como a da Figura 10 (DENT 1999, p. 181-182), ou a de MEIHOEFER (1969 apud SLOCUM, 1999, p. 128), que foram criadas a partir de estudos sobre a percepção dos diferentes

tamanhos de círculos, sem a intenção de representar a proporção entre os valores da variável representada.

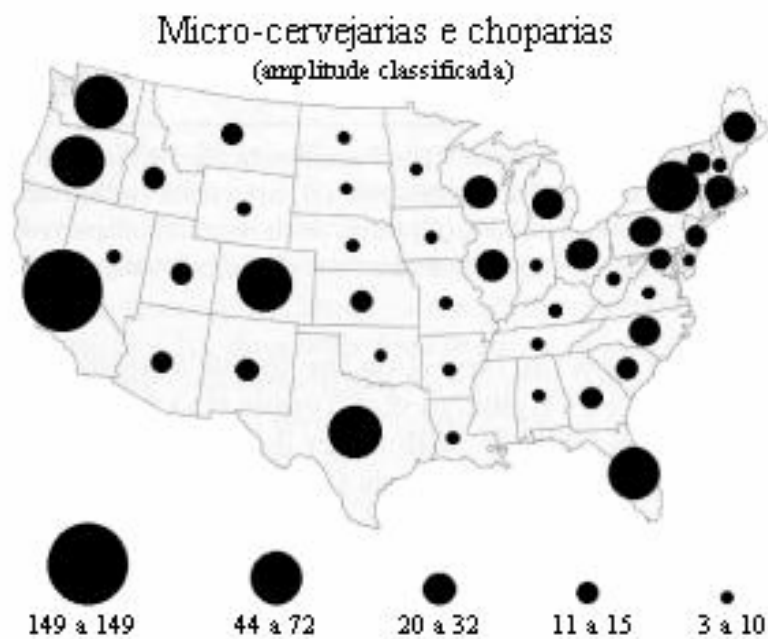
FIGURA 8 – MAPA COM DADOS NÃO CLASSIFICADOS



FONTE: SLOCUM, 1999, p. 129

NOTA: Adaptado pela autora.

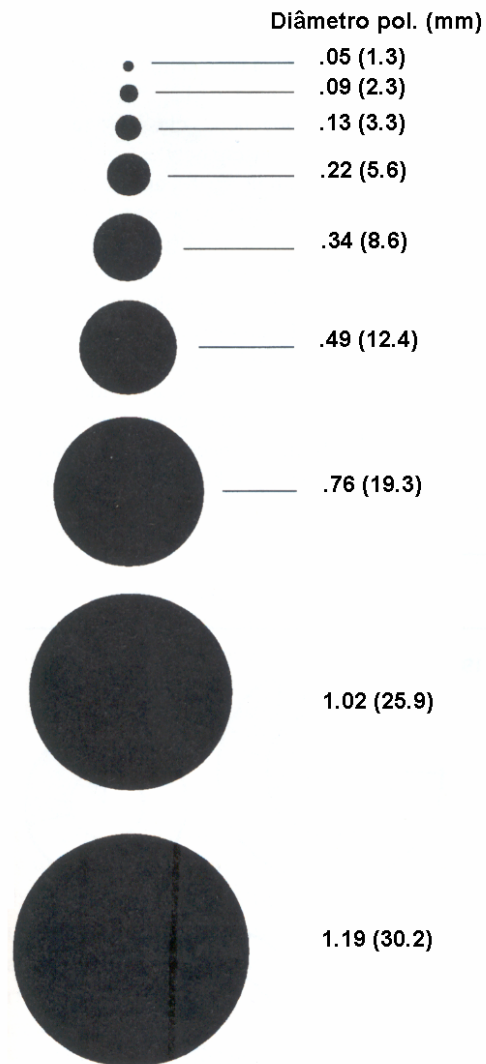
FIGURA 9 – MAPA COM DADOS CLASSIFICADOS UTILIZANDO A TABELA DE DENT PARA O DIMENSIONAMENTO DOS SÍMBOLOS



FONTE: SLOCUM, 1999, p. 129

NOTA: Adaptado pela autora.

FIGURA 10 – TAMANHOS DE CÍRCULOS PADRONIZADOS



FONTE: DENT, 1999, p. 183

NOTA: Adaptado pela autora.

2.2.3 Mapas isarítmicos

Um mapa isarítmico é a representação plana através de isolinhas de uma superfície tridimensional, que pode ser uma superfície real, como o relevo, ou uma superfície abstrata ou conceitual. Uma superfície conceitual é uma distribuição geográfica de valores de dados, ou seja, dados numéricos como temperatura ou densidade demográfica, coletados para localizações geográficas específicas. A técnica de mapeamento isarítmico só pode ser empregada caso exista, ou possa ser abstraída,

esta superfície tridimensional contínua (DENT, 1999, p. 190).

Mapas isarítmicos podem ser classificados em isométricos ou isopléticos, de acordo com a natureza dos dados a partir dos quais foram gerados. Nos mapas isométricos, os dados foram coletados para localizações pontuais específicas, os *pontos de controle*, como dados de temperatura em estações meteorológicas. Nos isopléticos, os dados referem-se a unidades de enumeração de áreas geográficas, como densidade demográfica ou taxa de produção agrícola (SLOCUM, 1999, p. 27).

No caso dos mapas isométricos, os valores do fenômeno nos *pontos de controle* podem ser divididos em valores reais e derivados. Valores reais são como temperatura, precipitação pluviométrica e elevação. Tais valores são obtidos por levantamentos de campo ou sensoriamento remoto. Valores derivados podem ser medidas estatísticas como médias e medidas de dispersão ou ainda proporções e razões (DENT, 1999, p. 191).

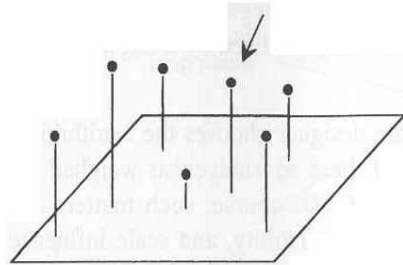
O método para construção dos mapas isarítmicos pode ser visualizado na Figura 11. Inicialmente, são escolhidas as posições horizontais para os pontos de controle. A seguir, são atribuídos os valores observados a cada um destes pontos. Os valores para os demais pontos do mapa são então estimados através de um processo de interpolação. A superfície formada é suavizada, de modo a formar uma superfície contínua. As isolinhas são traços planimétricos das interseções de planos hipotéticos com esta superfície ondulada tridimensional (DENT, 1999, p. 192).

No mapeamento isométrico, o posicionamento horizontal das amostras é determinado pela posição dos instrumentos de medição ou dos dados disponíveis ou escolhidos em fotos aéreas ou imagens de satélite. Problemas derivam da não uniformidade da distribuição destes pontos, que gera diferentes precisões na interpolação. Nos casos em que o cartógrafo não possui controle sobre o padrão de distribuição dos *pontos de controle*, é preferível utilizar uma grade triangular (DENT, 1999, p. 195). O uso de uma rede irregular de triângulos (TIN – “Triangular Irregular Network”) é bastante comum na representação do relevo. Esta rede é construída

através da ligação de pontos com valores conhecidos (*pontos de controle*) formando uma triangulação de Delaunay. A triangulação permite que sejam utilizados pontos de controle irregularmente distribuídos e a densidade dos pontos pode ser ajustada pelo grau de variação da superfície. Áreas com pequenas variações podem ser representadas por poucos triângulos, enquanto um maior número é necessário para áreas com variações mais freqüentes (BURROUGH; MCDONNELL, 1998, p. 64). A Figura 12 mostra uma rede triangular irregular.

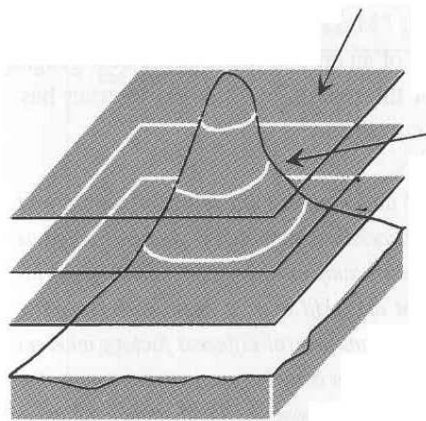
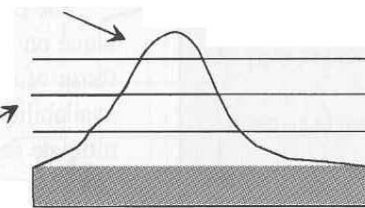
FIGURA 11 – CONSTRUÇÃO DO MAPA ISARÍTMICO

1. Representação proporcional ao valor do fenômeno.

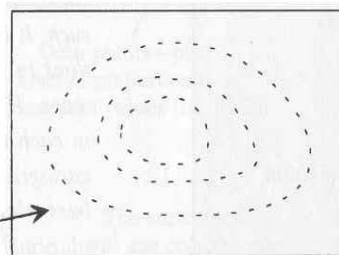


3. Planos hipotéticos atravessam o volume.

2. Superfície obtida pela interpolação dos valores.



4. O traço desenhado pela interseção dos planos com a superfície formam as isolinhas.

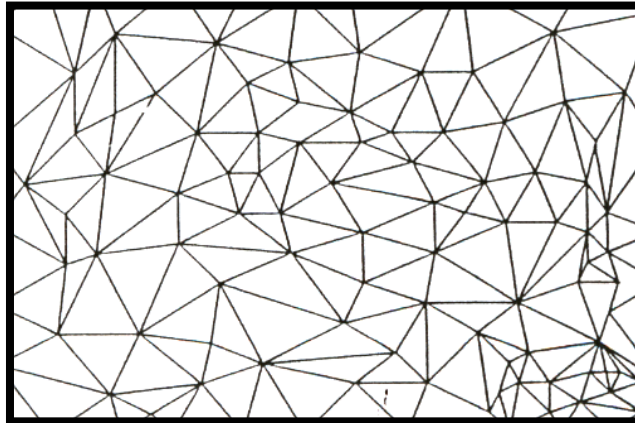


5. O desenho planimétrico dos traços formam o mapa isarítmico.

FONTE: DENT, 1999, p. 193

NOTA: Adaptada pela autora.

FIGURA 12 – REDE TRIANGULAR IRREGULAR



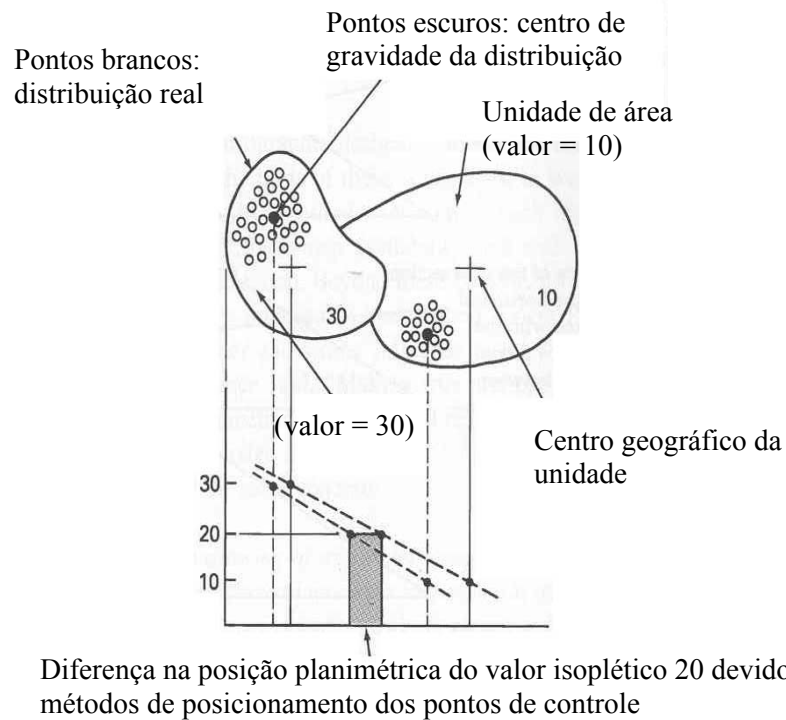
FONTE: BURROUGH; MCDONNELL, 1998, p. 66

Já os mapas isopléticos são gerados a partir de dados que ocorrem sobre as *unidades de área*. Podem ser representados valores que envolvem áreas direta ou indiretamente, como densidade populacional ou produção agrícola por hectare. Valores totais devem ser transformados em razões de área antes do mapeamento (DENT, 1999, p. 192).

No mapeamento isoplético, a localização dos pontos de controle é um procedimento mais trabalhoso. Um ponto é selecionado dentro da unidade de enumeração e a ele é atribuído um valor que representa o valor médio da área considerada, ou seja, uma razão ou proporção que envolve a medida da área. A localização do ponto de controle dentro da área afetar a sua acurácia e aparência, que deve refletir os atributos espaciais da distribuição. Caso esta distribuição ocorra de modo uniforme, o centro geográfico da unidade de área pode ser utilizado. De forma geral, DENT (1999, p. 195-196) recomenda que se utilize o centro de gravidade da distribuição (Figura 13).

Após a etapa de seleção da posição dos pontos de controle, a geração do mapa isoplético é idêntica à do mapa isométrico, ou seja, os valores destes pontos são interpolados para formar uma superfície que será interceptada por planos, como mostrado na Figura 11.

FIGURA 13 – PONTOS DE CONTROLE PARA MAPAS ISOPLÉTICOS

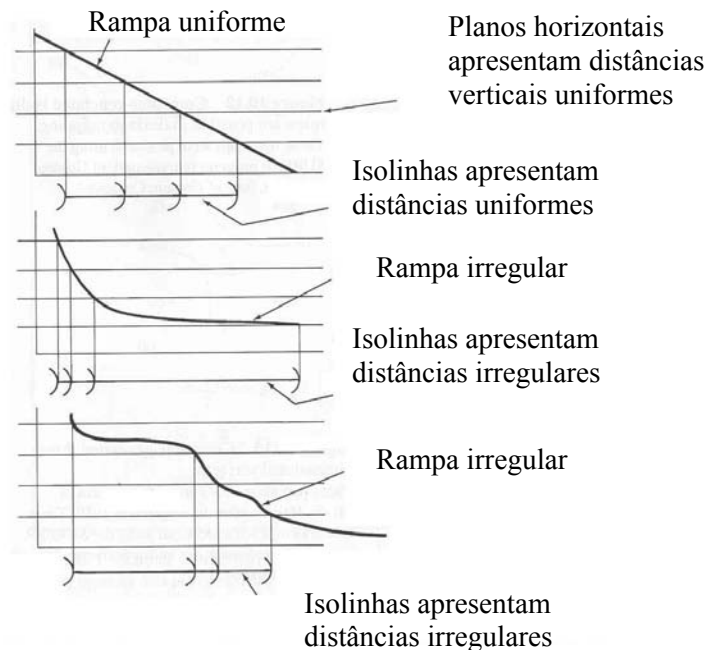


FONTE: DENT, 1999, p. 196

NOTA: Adaptada pela autora.

As posições verticais dos planos hipotéticos são selecionadas a partir de uma origem (*datum*) adotada para o mapa específico. A faixa dos valores representados determina o valor do *datum*, normalmente zero. Cada plano possui um valor numérico que indica sua distância ao *datum*, e este será o valor da respectiva isolinha. Como os planos são paralelos ao *datum*, a isolinha possui o mesmo valor em toda a sua extensão. Os planos horizontais devem estar espaçados uniformemente, de modo a permitir análises derivadas de seu espaçamento horizontal (Figura 14). A seleção do intervalo vertical utilizado depende da distribuição do fenômeno na região e deve ser feita de modo a evitar grandes concentrações de isolinhas, ou áreas com grandes vazios (DENT, 1999, p. 200).

FIGURA 14 – ESPAÇAMENTO UNIFORME DOS PLANOS HORIZONTAIS



FONTE: DENT, 1999, p. 200

NOTA: Adaptada pela autora.

A posição das isolinhas é determinada por métodos de interpolação, que são procedimentos para calcular o valor de atributos em locais em que estes não estão disponíveis, a partir das medidas disponíveis (BURROUGH; MCDONNELL, 1998, p. 98). A escolha do método de interpolação depende do conhecimento do cartógrafo sobre a distribuição do fenômeno na área a ser mapeada. Na triangulação, é construído um conjunto de triângulos que possuem como vértices os pontos de controle. Os valores ao longo das arestas destes triângulos são interpolados. No método do inverso da distância, é criada uma grade de pontos igualmente espaçados e posicionada sobre os pontos de controle. O valor de cada ponto da grade é estimado como uma função do inverso da distância aos pontos de controle. A seguir são interpolados os valores entre os pontos da grade. O “kriging” é um método semelhante que considera não apenas a distância até os pontos de controle mas também a autocorrelação espacial entre os dados, tanto entre os pontos da grade e os pontos de controle quanto dos pontos de controle entre si (SLOCUM, 1999, p. 137-145).

Não existem regras universais para o posicionamento das isolinhas, mas algumas heurísticas podem ser empregadas. Valores de isolinha são mais reveladores quando coincidem com mudanças abruptas na declividade. Toda a região deve ser considerada, e o intervalo escolhido deve ser o que acomoda melhor os lugares de mudanças rápidas e fornece detalhes suficientes para mostrar a forma da superfície. Neste tipo de mapa, as isolinhas transmitem informação através de sua magnitude, espaçamento e orientação (DENT, 1999, p. 200).

Algumas recomendações no projeto gráfico de mapas isarítmicos são destacadas por DENT (1999, p. 202-203). As isolinhas devem ser dominantes no mapa. Os rótulos destas devem ser posicionados em intervalos ao longo das linhas, mas não intervalos muito pequenos, pois isso interfere na visualização da superfície tridimensional. Deve-se tomar cuidado com a orientação do texto na direção da leitura, e nunca de cabeça para baixo. DENT (1999, p. 203) não considera apropriado o uso de sombreamento ou cores uniformes entre as isolinhas pois alega que isso pode levar o usuário a entender a superfície como formada por degraus, o que não deve ser a intenção do cartógrafo. KEATES (1988, p. 37) ressalta que, por serem as áreas elementos visualmente dominantes sobre as linhas, estas cores hipsométricas podem ser utilizadas apenas em pequenas escalas.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE DADOS NUMÉRICOS

É bastante comum que mapas temáticos sejam gerados a partir de dados numéricos, existentes no banco de dados computacional. Antes de especificar a simbologia para representação destes dados, é recomendável dividi-los em categorias, ou intervalos. DENT (1999, p. 143) afirma que a divisão dos valores em classes simplifica a leitura do mapa pelo usuário e considera a classificação como um tipo de generalização, pois alguns detalhes podem ser perdidos, mas o resultado permite que mais informação seja transmitida pelo mapa. Existem diversas formas de realizar esta

classificação, como por exemplo, a classificação em intervalos constantes, a por desvio padrão, a classificação por quantis e a por quebras máximas. A escolha do melhor método depende dos dados numéricos em si, da natureza do fenômeno a ser representado e do propósito do mapa, ou seja do aspecto do fenômeno que se deseja analisar.

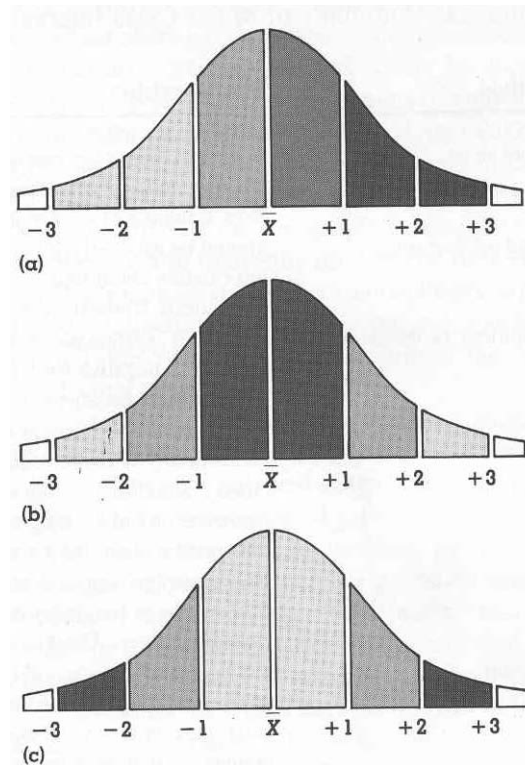
A classificação por intervalos constantes divide os valores em classes de intervalos de mesma extensão numérica. Algumas vezes os limites mostrados na legenda são alterados para facilitar a leitura. Por exemplo, um limite calculado como 19,2 pode ser substituído pelo número 20,0, desde que isto não cause a inclusão de novos valores na classe, ou seja, que não haja dados ocorrendo no intervalo de 19,2 até 20,0 (SLOCUM, 1999, p. 63).

No caso em que os dados apresentam uma distribuição normal ou próxima dela, os limites de classe podem ser estabelecidos pelo valor do desvio padrão, em relação à média. Esta técnica deve ser utilizada apenas se estes valores possuírem algum significado para o usuário do mapa, ou seja, se o nível de entendimento do usuário permite que ele entenda esta classificação, e se a análise da variação do fenômeno em relação à média na região representada é útil ao usuário. Alternativas para a simbolização por luminosidade de áreas para este tipo de classificação são mostradas na Figura 15 (DENT, 1999, p. 146).

Na classificação por quantis, os dados são considerados em ordem crescente e a mesma quantidade de observações é atribuída a cada classe, seguindo a ordem numérica. Para quatro classes, estas medidas estatísticas que formam os limites de classe são denominadas quartis. Para cinco classes, denominam-se quintis e para dez, decis (SLOCUM, 1999, p. 67).

O método de quebras máximas posiciona a divisão das classes entre os valores de maior diferença numérica, quando estes são organizados em ordem numérica crescente. As quebras são inseridas da maior para a menor diferença numérica, até que seja obtido o número de classes desejado (SLOCUM, 1999, p. 69-70).

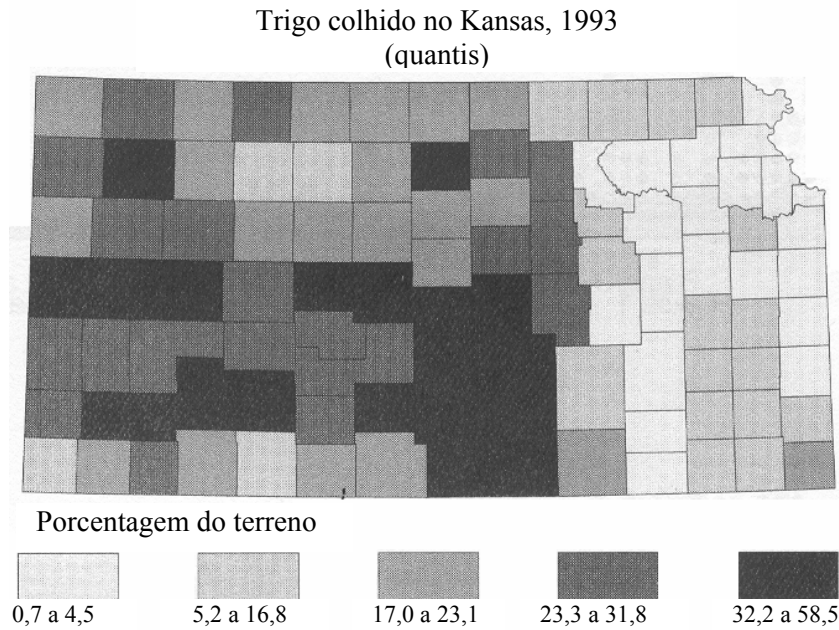
FIGURA 15 – SIMBOLIZAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO PELA MÉDIA E DESVIO PADRÃO



FONTE: DENT, 1999, p. 146

Um único conjunto de dados numéricos pode levar à construção de diversos mapas, que fornecerão diferentes visões da realidade. Uma seleção descuidada dos intervalos de classe pode levar a interpretações distorcidas do fenômeno (MONMONIER, 1996, p. 139). Isto pode ser comprovado pelo exemplo das Figuras 16 e 17. Apesar de terem sido gerados a partir do mesmo conjunto de dados, os mapas fornecem visões bastante distintas do fenômeno. A visualização do primeiro mapa conduz o usuário à conclusão de que muitas regiões principalmente no centro-sul e no oeste, tiveram valores altos do fenômeno, enquanto o segundo, ao contrário, mostra apenas uma pequena região no sul com valores altos. A representação espacial do comportamento do fenômeno é diferente nestes dois mapas devido à escolha dos intervalos de classe.

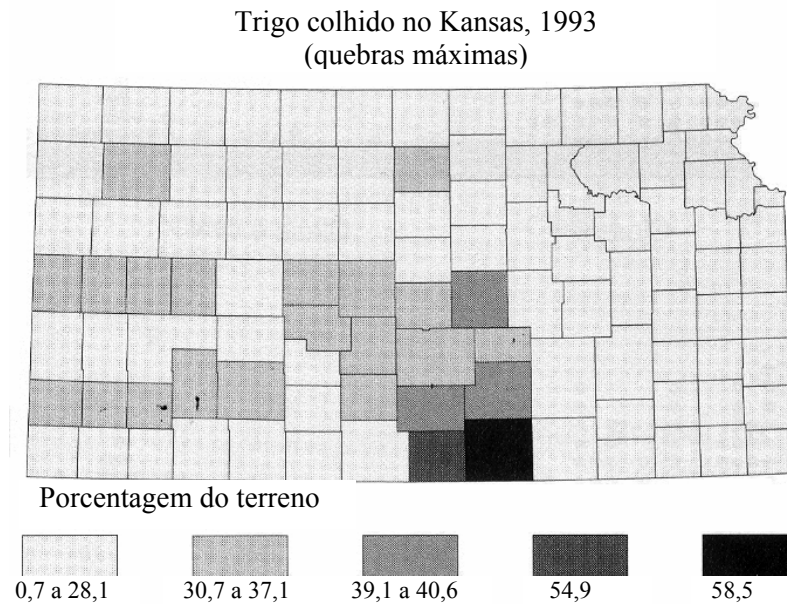
FIGURA 16 – MAPA GERADO A PARTIR DE UM CONJUNTO DE DADOS NUMÉRICOS CLASSIFICADOS PELO MÉTODO DOS QUANTIS



FONTE: SLOCUM, 1999, p. 66

NOTA: Adaptado pela autora.

FIGURA 17 – MAPA GERADO A PARTIR DE UM CONJUNTO DE DADOS NUMÉRICOS CLASSIFICADOS PELO MÉTODO DE QUEBRAS MÁXIMAS



FONTE: SLOCUM, 1999, p. 66

NOTA: Adaptado pela autora.

3 SISTEMAS BASEADOS EM CONHECIMENTO

O conhecimento tem duas funções importantes nos programas de Inteligência Artificial (IA). A primeira é definir o que pode ser feito para solucionar um problema e especificar o que significa ter solucionado o problema. O conhecimento que satisfaz esta função pode ser chamado de *conhecimento essencial*. A segunda é proporcionar conselhos sobre qual a melhor maneira de solucionar um problema eficientemente. Este conhecimento pode ser chamado de *conhecimento heurístico* (RICH; KNIGHT, 1995, p. 347).

O objetivo da representação de conhecimento é expressar conhecimento em uma forma tratável computacionalmente, de modo que possa ser utilizado por um agente para ter sucesso (RUSSELL; NORVIG, 1995). Todas as técnicas de construção de sistemas baseados em conhecimento são implementadas através da escolha de dois parâmetros: a forma de representação do conhecimento e os métodos de inferência, isto é, o modo de gerar novo conhecimento. Estes dois parâmetros estão fortemente interligados. “Por exemplo, se o conhecimento for representado como fórmulas em lógica de predicados, a regra de *resolução* pode ser utilizada para gerar novas fórmulas. Por outro lado, se forem utilizados os pesos em uma rede neural, terá que ser utilizada alguma forma de busca na rede, como a propagação para trás (‘backpropagation’)” (RICH; KNIGHT, 1995, p. 668).

Uma representação de conhecimento atua em vários papéis. Por exemplo, segundo DAVIS, SHROBE e SZOLOVITS (1993, p. 18), a representação de um objeto, seja concreto ou abstrato, funciona como um substituto para o objeto, uma alternativa para as coisas que existem no mundo. Operações realizadas com, e sobre a representação substituem operações no mundo real, ou seja, substituem a interação direta com o mundo. Ainda de acordo com DAVIS, SHROBE e SZOLOVITS (1993, p. 18), esta representação ocorre internamente em qualquer ser pensante, e o raciocínio consiste nas operações acima descritas.

Quando uma certa forma de representação é selecionada, isto implica em uma série de decisões sobre como e o que será visto no mundo real, pois cada forma de representação realça determinados aspectos da realidade, e dissimula outros. Assim, uma representação de conhecimento corresponde a um conjunto de compromissos ontológicos, que se relacionam com a natureza da realidade (DAVIS; SHROBE; SZOLOVITS, 1993, p. 18), (RUSSELL; NORVIG, 1995, p. 222).

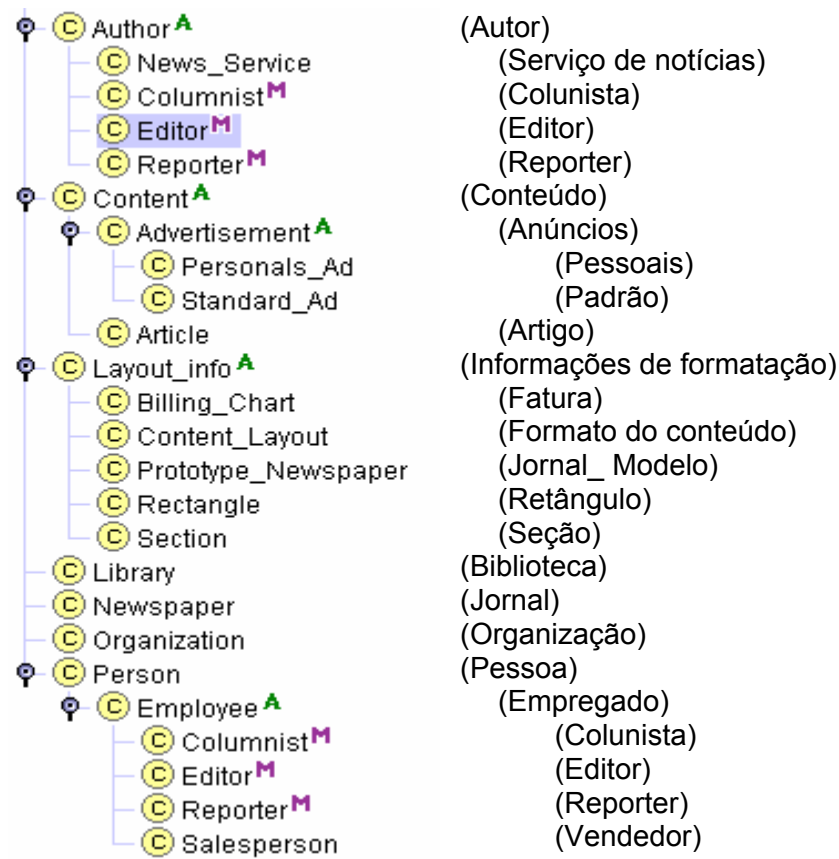
3.1 ONTOLOGIA

O termo “ontologia” foi recentemente adotado pela comunidade da IA para se referir a um conjunto de conceitos que podem ser utilizados para descrever alguma área do conhecimento ou construir uma representação dela. Uma ontologia pode ser de alto nível, consistindo de conceitos que organizam a “parte superior” de uma base de conhecimentos, ou pode ser específica para um domínio, como uma ontologia de veículos (SWARTOUT, 1999, p. 19). Uma ontologia de alto nível poderia especificar, por exemplo, se o mundo seria dividido em objetos e processos, ou em objetos abstratos e objetos concretos. Segundo RUSSELL e NORVIG (1995, p. 226), apesar de ser mais trabalhosa, pode ser interessante definir inicialmente uma ontologia mais geral, que será depois especificada para diversos domínios. Isto reforça o objetivo inicial da construção da ontologia que é, além de organizar o conhecimento, permitir seu compartilhamento e reuso. A idéia de uma ontologia geral é, na medida do possível, não fazer nenhum tipo de omissão no conhecimento sobre o mundo, de forma que qualquer coisa que se deseje representar possa ser especificada a partir desta ontologia.

A Figura 18 mostra uma ontologia específica para um jornal, construída utilizando a ferramenta Protégé-2000 (SU). Neste exemplo, um *Autor* pode ser um *Serviço de notícias*, um *Colunista*, um *Editor*, ou um *Repórter*. A ferramenta Protégé-2000 foi desenvolvida pelo Stanford Medical Informatics, da Universidade de

Stanford, para a construção de ontologias com dois propósitos: a criação de bases de conhecimentos ou de bancos de dados. A letra A sobrescrita a uma palavra indica tratar-se de um conceito que não admitirá instâncias na base de dados, ou seja, não conterá dados. A letra M indica mais de um “pai”, por exemplo, o conceito de *Editor* pode ser utilizado como um tipo de *Autor*, ou de *Empregado*, dependendo da inferência que se deseje realizar. Uma descrição da ferramenta Protégé-2000 e de seu suporte metodológico pode ser encontrado em GROSSO et al. (1999).

FIGURA 18 – ONTOLOGIA PARA UM JORNAL, FERRAMENTA PROTÉGÉ-2000



FONTE: Tutorial do Protégé-2000, disponível em SU

NOTA: Tradução da autora.

A diferença entre uma ontologia e uma base de conhecimentos deve ser esclarecida. Uma ontologia fornece a estrutura básica ou esqueleto (“armature”) ao redor da qual uma base de conhecimentos pode ser construída. As ontologias contêm um conjunto de conceitos e termos para descrever algum domínio, enquanto uma base

de conhecimento utiliza estes termos para representar o que é verdade sobre algum mundo real ou hipotético (SWARTOUT, 1999, p. 19). No exemplo da Figura 18, esta ontologia está sendo utilizada para representar o fato de que um repórter é uma pessoa. Por outro lado, o fato de que para ser publicado na capa um artigo deve ser revisado por dois ou mais editores, deverá ser armazenado na base de conhecimentos, utilizando os termos definidos na ontologia.

Segundo SWARTOUT (1999, p. 19), o interesse em ontologias cresceu na medida em que pesquisadores e desenvolvedores de sistemas tornaram-se preocupados em reutilizar ou compartilhar conhecimento entre os sistemas. Atualmente, um impedimento chave para compartilhar conhecimento é que diferentes sistemas usam diferentes conceitos e termos para descrever seus domínios. Estas diferenças tornam difícil acessar conhecimento de um sistema para utilizá-lo em outro. Ao se definir ontologias que possam ser utilizadas como base para sistemas múltiplos, eles utilizarão uma terminologia comum que facilitará o compartilhamento e a reutilização do conhecimento. Similarmente, se forem desenvolvidas ferramentas que suportem combinar ontologias e realizem tradução entre elas, o compartilhamento seria possível mesmo entre sistemas baseados em ontologias diferentes.

Uma ontologia pode ser descrita em diversas linguagens, como Prolog ou Lisp, e pode estar descrita em diferentes idiomas. Mas o que diferencia duas ontologias não é a linguagem, e sim a estrutura do conteúdo conceitual. Uma análise ontológica esclarece a estrutura do conhecimento. Dado um domínio, sua ontologia constitui o centro de qualquer sistema de representação do conhecimento para aquele domínio. Sem ontologias, ou a conceitualização na qual o conhecimento é baseado, não haverá um vocabulário para representar o conhecimento (CHANDRASEKARAN; JOSEPHSON; BENJAMINS, 1999, p. 21). A ontologia fornece este vocabulário.

Atualmente, existem diversas ferramentas para construção de ontologias. Embora apresentem algumas divergências filosóficas, concordam em muitos pontos essenciais, por exemplo, que os objetos possuem propriedades ou atributos que podem

assumir valores, ou que pode haver diversos tipos de relações entre os objetos, sendo que estas podem variar com o tempo. LÓPEZ et al. (1999, p. 38) recomendam que seja adotado o modelo de prototipação na construção de uma ontologia, iniciando-se pelos conceitos no topo da árvore taxonômica e progressivamente ramificando estes conceitos a níveis mais específicos.

3.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS

Uma classe de programas baseados em conhecimento são os sistemas especialistas. “Um sistema especialista é um programa baseado em computador que procura captar o suficiente do conhecimento do especialista humano de modo a também ele solucionar os problemas com perícia comparável à do especialista humano” (HEINZLE; FERRARI; KOSTETZER, 1998). Os sistemas especialistas são uma classe de sistemas de Inteligência Artificial desenvolvidos para servirem como consultores na tomada de decisões. As principais características de um sistema especialista são (ABEL, 1998, p. 6):

- a) refletem a forma de resolver problema de um ou mais especialistas humanos;
- b) as tarefas preferenciais para este tipo de sistema são fundamentalmente as de natureza simbólica;
- c) a capacidade de utilizar conhecimento na resolução de problemas permite que a busca de soluções em problemas complexos seja feita de maneira dirigida, ao contrário da busca por exaustão dos sistemas convencionais.

Portanto, o sistema encontrará soluções que seguem os princípios adotados pelos especialistas que participaram de sua construção. As tarefas de natureza simbólica incluem a representação de conceitos abstratos e a possibilidade de manipulação de sentenças lógicas. WATERMAN (1986, p. 11) define sistemas

especialistas como programas de computadores que manipulam conhecimento para resolver problemas eficientemente em uma área específica de problemas. Diversas classes de problemas demandam o tratamento descrito. Entre as principais aplicações de sistemas especialistas, ABEL (1998, p. 7) cita:

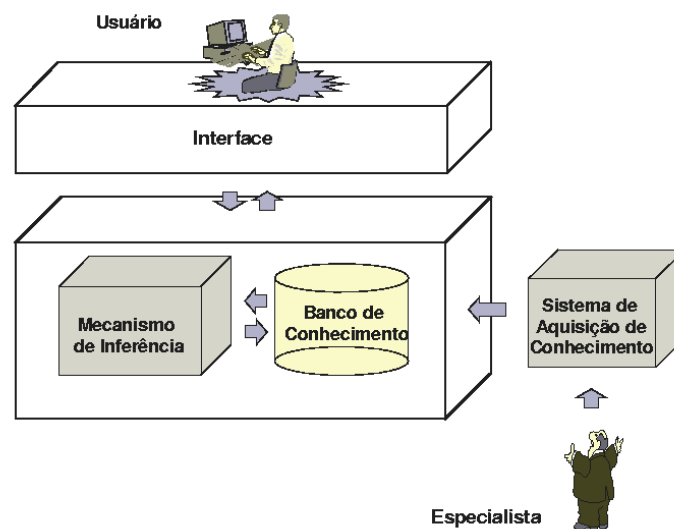
- a) sistemas de interpretação: identificam objetos a partir de conjuntos de observações;
- b) sistemas de diagnóstico: deduzem possíveis problemas a partir de observações ou sintomas;
- c) sistemas de projeto: desenvolvem configurações de objetos que satisfazem determinados requisitos ou restrições;
- d) sistemas de monitoração: comparam observações de comportamento de sistemas, com características consideradas necessárias para alcançar objetivos;
- e) sistemas de controle: governam de forma adaptativa o comportamento de um sistema.

WATERMAN (1986, p. 7) ressalta uma aplicação administrativa: se a base de conhecimentos foi criada a partir do conhecimento de pessoas-chave em um escritório ou departamento, pode simular uma “memória institucional”, representando a política da empresa ou grupo. Destaca ainda que o usuário de um sistema especialista pode utilizá-lo para auxílio em suas decisões, aprendizado sobre um domínio ou descoberta científica, através da modelagem e simulação do conhecimento disponível sobre um domínio.

Um sistema especialista é composto por um banco de conhecimento (ou base de conhecimentos) e um conjunto de mecanismos de inferência (Figura 19). A base de conhecimentos é um conjunto de representações de fatos sobre o mundo (RUSSELL; NORVIG, 1995, p. 151). Os mecanismos de inferência são métodos inteligentes de manipulação deste conhecimento. O conhecimento reflete o domínio da aplicação, enquanto os métodos de inferência tendem a ser genéricos. Como a base de

conhecimentos é separada da estrutura de controle, pode ser facilmente alterada independentemente. Em geral, os sistemas especialistas são transparentes quanto ao raciocínio, ou seja, são capazes de fornecer explicações quanto às suas conclusões. Também é desejável que sejam capazes de adquirir novos conhecimentos (ABEL, 1998, p. 7).

FIGURA 19 – ARQUITETURA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS



FONTE: ABEL, 1998, p. 8

A presença de algumas características no problema considerado sugere a eficiência na aplicação de sistemas especialistas. Entre os principais indicativos, destacam-se (ABEL, 1998, p. 12-14):

- a) técnicas convencionais mostraram-se inadequadas ou insuficientes;
- b) a experiência do profissional é significativa em seu desempenho;
- c) dados simbólicos;
- d) análise demorada e criteriosa de muitos fatores.

Diversas tarefas da área de Cartografia possuem as características acima, destacando-se o projeto dos símbolos cartográficos. A análise mais detalhada destas tarefas para a Cartografia Temática pode ser encontrada na Seção 5.1.

O conhecimento armazenado na base de conhecimentos pode estar organizado

e estruturado de diversos modos. Várias são as estruturas de dados e procedimentos de interpretação que podem ser utilizadas. Estas não são excludentes, mas complementares, podendo ser utilizadas todas em conjunto e gerando os chamados sistemas híbridos (BARRETO, 1999).

Segundo RUSSELL E NORVIG (1995, p. 297-298), os sistemas de raciocínio automático podem ser agrupados em quatro categorias: provadores de teorema e linguagens de programação lógicas; sistemas de produção; sistemas de “frame” ou redes semânticas; sistemas de lógica descritiva. Durante seu funcionamento, os provadores de teorema partem de um objetivo (o teorema), e fazem o *encadeamento para trás* (“backward chaining”) para determinar se este pode ou não ser provado, ou seja, se deriva ou não da base de conhecimentos.

Nos sistemas de produção, os procedimentos são seqüências de ações necessárias à solução de determinado problema. São descritos normalmente na forma de regras de produção no formato: *Se <condição> então <ação>*. O mecanismo de inferência utiliza o *encadeamento para frente* (“forward chaining”): busca validar as premissas das regras, para concluir a parte *então* (conseqüente) da regra, que é interpretada como uma ação, e não apenas como uma conclusão lógica. Os resultados intermediários, que são as premissas validadas e conclusões deduzidas, são armazenados em uma memória de trabalho (ABEL, 1998), (RUSSELL; NORVIG, 1995).

Os sistemas de “frame” e de redes semânticas descrevem o mundo através dos objetos que estão envolvidos na solução. Estes objetos devem ser descritos em termos das propriedades que os caracterizam (ou seja, seus atributos e valores de atributos) e dos seus relacionamentos com os outros objetos do mundo. Estes relacionamentos identificam as relações estruturais do domínio do problema e permitem organizar os objetos em hierarquias ou outras estruturas. Os principais relacionamentos utilizados em redes semânticas são (ABEL, 1998), (RUSSELL; NORVIG, 1995): generalização/classificação (relação é-um); agregação ou particionamento (relação

parte-de); membro de conjunto (relação membro-de).

Um tipo de estrutura comumente utilizada para armazenar informações sobre objetos é a de “frames”. “ ‘Frames’ são grandes estruturas que contêm toda informação sobre determinado objeto, na forma da descrição dos tipos e valores de atributos associados ao objeto” (ABEL, 1998, p. 31). A principal forma de inferência em sistemas de “frames” ocorre por herança de atributos entre classes e elementos da classe, através dos relacionamentos *é-um*. As instâncias de um “frame” herdam todos os atributos definidos para aquele “frame”, bem como seus valores, métodos e restrições. Formas mais sofisticadas de raciocínio podem ser incorporadas através da associação de regras de produção ao sistema de “frames”. Estas podem descrever aspectos comportamentais dos objetos ou seqüências de ações que devem ser desencadeadas por determinados valores de atributos (ABEL, 1998, p. 33).

Entre os sistemas de lógica descritiva, destacam-se os que utilizam o raciocínio baseado em casos. Casos são descrições completas de uma determinada situação e a solução utilizada para resolvê-la. Normalmente, o problema é descrito na forma da situação dos objetos envolvidos (relações e atributos). A idéia principal é utilizar a experiência passada para resolver problemas. São acumuladas descrições de "casos" na área do conhecimento especializado e tenta-se descobrir, por analogia, quando um determinado problema é similar a um outro já resolvido. Desta forma, a solução já aplicada ao problema pode ser utilizada novamente ou adaptada para o caso em questão. Dada uma descrição de um problema, um algoritmo de recuperação deveria encontrar os casos mais similares à situação atual, utilizando-se dos índices da memória de casos. Os algoritmos baseiam-se na comparação entre um novo caso e aqueles armazenados no banco, utilizando uma soma ponderada das suas características. Para isso é necessário atribuir um peso a cada uma das feições que descrevem o caso e que serão utilizadas na recuperação. A tarefa final do raciocínio baseado em casos é adaptar a solução associada a um caso recuperado para as necessidades do problema corrente (ABEL, 1998, p. 34-37). Também é possível

utilizar abordagens híbridas. Estas devem ser tentadas quando se deseja obter vantagens de mais de um tipo de método de abordagem para resolução de problemas (BARRETO, 1999).

3.2.1 Etapas para a construção de um sistema especialista

Para RUSSELL e NORVIG (1995, p. 7), um *agente* é algo que percebe e age. Nesta abordagem, a IA trata da construção de *agentes inteligentes*, ou seja, que escolhem a melhor ação em determinada situação, de forma lógica e racional. A medida do sucesso ou insucesso do agente deve considerar os dados disponíveis, ou seja, o que lhe era possível perceber. O projeto de um agente deve especificar que ação ele deve tomar como resposta a uma dada seqüência de percepções.

RUSSELL e NORVIG (1995, p. 35-37) destacam que, antes de projetar um agente, deve-se especificar suas possíveis percepções e ações, seus objetivos ou medidas de sucesso e em que tipo de ambiente ele vai operar. O Quadro 1 mostra alguns exemplos deste tipo de definição, abreviada como PAGE (“percepts”, “actions”, “goals”, “environment”).

QUADRO 1 – EXEMPLOS DE AGENTES E SUA DESCRIÇÃO PAGE

TIPO DO AGENTE	PERCEPÇÕES	AÇÕES	OBJETIVOS	AMBIENTE
sistema de diagnóstico médico	sintomas, resultados de exames, respostas dos pacientes	perguntas, testes, tratamentos	paciente saudável, custo mínimo	paciente, hospital
sistema de análise de imagens de satélite	pixels de intensidade variada, cor	imprimir uma classificação da região	classificação correta	imagens de satélites orbitais
controlador de refinaria	leitura de temperatura e pressão	abrir e fechar válvulas, ajustar temperatura	maximizar pureza e garantir segurança	refinaria
Tutor interativo de inglês	Palavras digitadas	Imprimir exercícios, sugestões e correções	Maximizar a nota do aluno no teste	Conjunto de estudantes

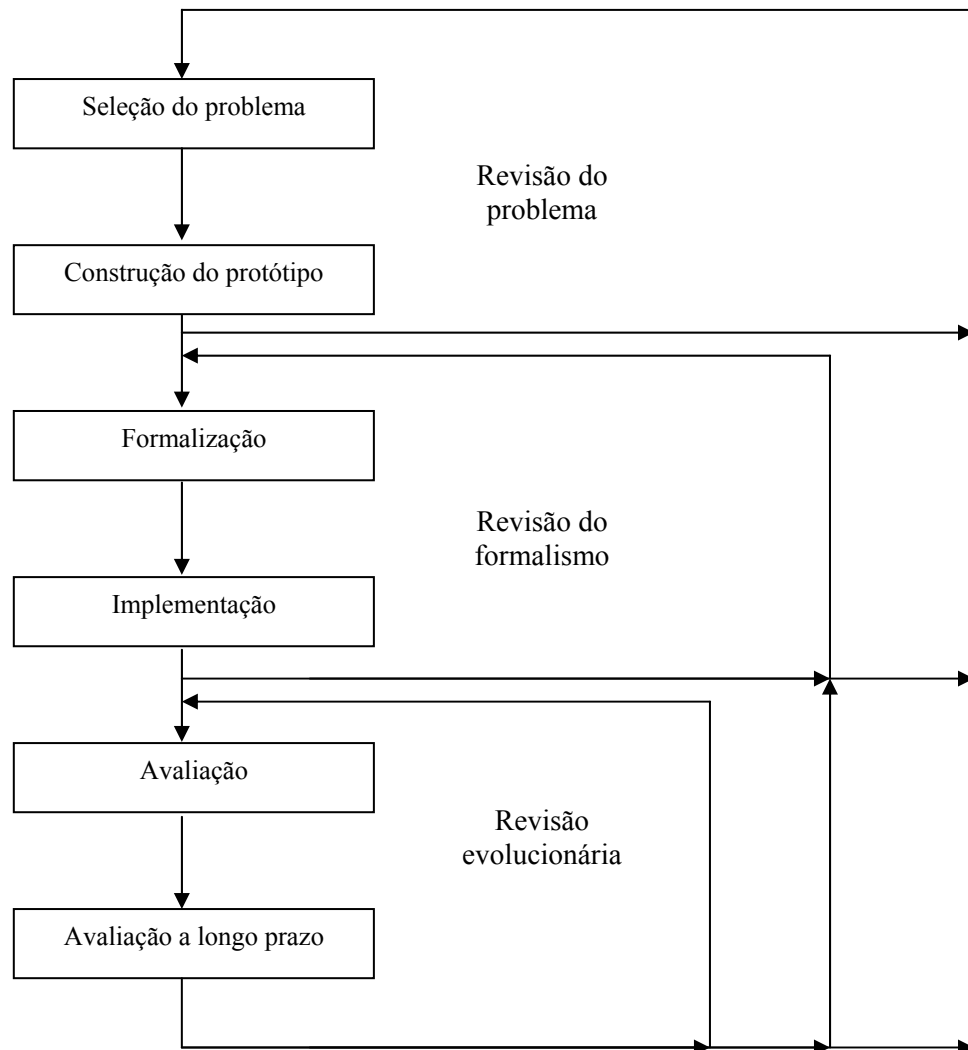
FONTE: RUSSEL e NORVIG, 1995, p. 37

O desenvolvimento de um sistema especialista, como citado por ROLSTON (1988, p. 140), segue em geral um modelo iterativo e interativo (Figura 20). É

construído um protótipo funcional e este é avaliado tanto pelo seu construtor quanto pelo especialista do domínio. Esta natureza evolutiva é traduzida pelas diretivas:

- a) o especialista humano deve estar envolvido em todo o processo;
- b) são necessárias freqüentes demonstrações da evolução do sistema;
- c) mudanças são bem-vindas e são, de fato, o objetivo principal.

FIGURA 20 – MODELO DO CICLO DE VIDA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS.



FONTE: ROLSTON, 1988, p. 140

NOTA: Adaptada pela autora.

A seleção do problema a ser resolvido deve considerar aspectos como a aplicabilidade da técnica para o domínio avaliado, o escopo do problema e a disponibilidade do especialista. Uma vez determinado o problema, deve ser construído um protótipo que representa uma pequena parte do sistema final. O propósito

fundamental deste protótipo é *aprender* mais sobre o domínio (ROLSTON, 1988, p. 146). Além disso, o protótipo pode ser útil para avaliar as decisões de projeto iniciais e para verificar a viabilidade do sistema. Segundo RUSSELL e NORVIG (1995, p. 224), deve-se entender suficientemente o domínio para saber que fatos necessitam ser representados e quais podem ser ignorados.

A próxima tarefa é a formalização, que consiste no projeto do sistema. Esta etapa inclui o registro de todas as decisões de projeto como estratégias de implementação, modos de teste, pontos de controle, enfim, o planejamento da implementação do sistema. Quanto maior é o sistema, mais importante esta etapa se revela (ROLSTON, 1988, p. 148). Deve-se decidir sobre o vocabulário, ou seja, construir uma ontologia do domínio. Ela determina que tipos de coisas existem para esta aplicação (RUSSELL; NORVIG, 1995, p. 222).

A seguir, o sistema é implementado em alguma linguagem ou ambiente desenvolvido para este fim. Nesta fase são realizados a revisão do protótipo, a aquisição do conhecimento central e o desenvolvimento de programas auxiliares, como, por exemplo, de interface com o usuário (ROLSTON, 1988, p. 152).

Na fase de avaliação, algumas dificuldades podem surgir. Para muitos domínios é impossível identificar uma resposta como “absolutamente correta” para um dado problema. O que se avalia é se a resposta é compatível com a resposta que um especialista daria para o problema em questão. Nesta fase, é desejável a interação com outros especialistas que não participaram do desenvolvimento do sistema (ROLSTON, 1988, p. 155).

3.2.2 Ambientes para a construção de sistemas especialistas

Inicialmente, cada sistema especialista precisava ser totalmente desenvolvido, em geral em LISP. Mas, depois de vários sistemas terem sido desenvolvidos, ficou claro que esses sistemas tinham muito em comum (RICH; KNIGHT, 1995, p. 634). Os

ambientes desenvolvidos especificamente para a construção de sistemas especialistas possuem, em geral, mecanismos para a representação do conhecimento, raciocínio e explicações. É desejável que possuam interface amigável para sua execução e para a aquisição de conhecimento. A maioria é especializada em determinada forma de processamento, ou seja, focaliza-se em uma forma de representar conhecimento. Esta especialização leva ao aumento da eficiência no desenvolvimento e execução. No caso ótimo, a ferramenta possui apenas as funcionalidades necessárias para o domínio implementado (ROLSTON, 1988, p. 172).

Alguns destes ambientes possuem uma interface compatível com um ambiente de programação convencional, o que proporciona ao programador todas as facilidades dos mecanismos de inferência do sistema especialista sem as restrições usuais na apresentação dos resultados, por exemplo, na forma gráfica.

O Expert SINTA/DISE é “um conjunto de ferramentas computacionais fundamentadas em técnicas de Inteligência Artificial para geração automática de sistemas especialistas” (UFC). Seu modelo de representação do conhecimento é baseado em regras de produção e fatores de confiança. O trabalho de implementação de sistemas especialistas é auxiliado pelo uso de uma máquina de inferência compartilhada, construção automática de telas e menus, tratamento de incerteza nas regras de produção e utilização de explicações sensíveis ao contexto da base de conhecimento modelada. Foi desenvolvida no Ceará pelo grupo SINTA (Sistemas INTeligentes Aplicados), do Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará e sofre constantes atualizações. As soluções Expert SINTA/DISE para sistemas especialistas são gratuitas e disponíveis on-line para toda a comunidade da Internet (UFC).

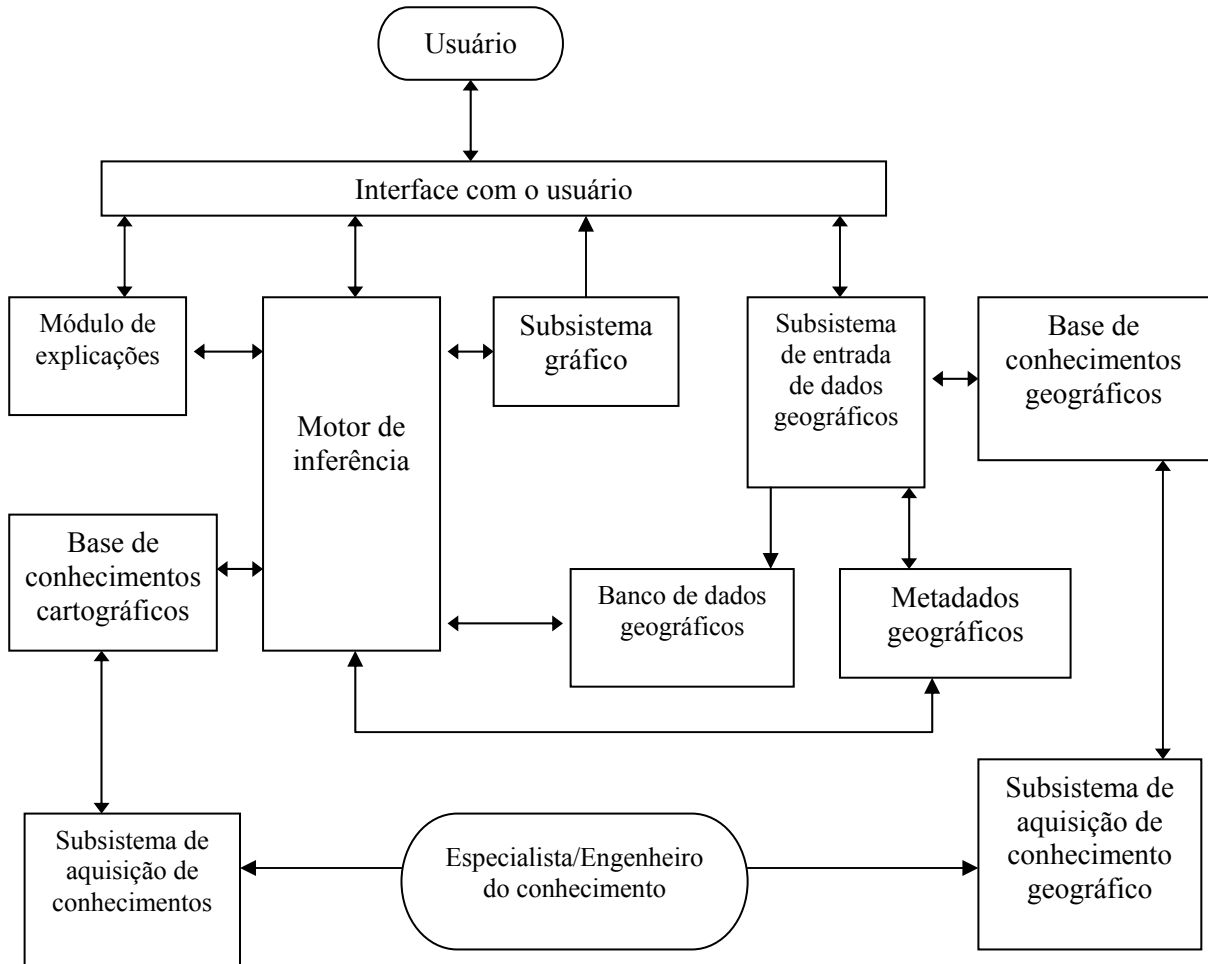
4 APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Mapas não estão mais nos domínios apenas dos cartógrafos. Apesar de proporcionarem oportunidades para a construção de mapas criativos, os sistemas de visualização também podem permitir muita liberdade para usuários com pouco ou nenhum conhecimento e treinamento em cartografia. O resultado final pode ser um mapa colorido e esteticamente atraente, mas pode não ser um meio de comunicação eficiente da informação espacial (GREEN, 1993, p. 1011). Para GREEN (1993, p. 1015), esta falta de eficiência é culpa não apenas da falta de conhecimento e treinamento do usuário em cartografia, mas também das restrições e liberdades para gerar soluções visuais oferecidas pelos sistemas disponíveis. Ele sugere a incorporação de arquivos de ajuda e tutores aos programas de visualização. BUTTENFIELD e MARK (1994, p. 145-146) analisaram as fases de projeto cartográfico e avaliaram que as mais indicadas para tratamento por sistemas especialistas são as relacionadas com o processo de seleção na generalização automática, as restrições conceituais de cada método de mapeamento no projeto de símbolos e o deslocamento e o posicionamento de rótulos na produção de mapas.

Algumas equipes de pesquisa já desenvolveram produtos baseados em conhecimento para auxílio ao usuário no projeto cartográfico temático. FORREST (1995) descreve o sistema MapDesigner, um sistema baseado em conhecimento, escrito em Prolog, para a produção de mapas em pequenas escalas que se apóia em dados relativos ao conteúdo do mapa. A arquitetura proposta de um sistema especialista para projeto cartográfico é mostrada na Figura 21. Para produzir um mapa com o sistema, o usuário informa inicialmente dados sobre como o mapa será utilizado, escolhendo uma entre diversas opções como análise e educação, e como será visualizado (tela, impressão colorida, monocromática, e outras). O sistema é capaz de produzir vários tipos de mapas, mas apenas em escalas de 1:2 milhões a 1:15 milhões,

pois controla automaticamente o nível de detalhamento exibido em função da escala escolhida. O sistema utiliza a estrutura de “frame” para a especificação da tarefa de mapeamento temático.

FIGURA 21 – ARQUITETURA DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA PROJETO CARTOGRÁFICO



FONTE: FORREST, 1995, p. 572

NOTA: Traduzido pela autora.

BERGMAN, ROGOWITZ e TREINISH (1995) descrevem um sistema denominado PRAVDAColor (*Perceptual Rule-based Architecture for Visualizing Data Accurately*), encapsulado no pacote de visualização da IBM denominado “Visualization Data Explorer”, que tem o objetivo de melhorar a seleção de esquemas de cores pelo usuário em mapas isopléticos. Uma arquitetura interativa baseada em regras é utilizada para restringir as operações efetuadas pelo usuário, tais como, escolha do esquema de cores e da cor de contorno das isolinhas. No PRAVDAColor,

as decisões são tomadas em função de informações sobre os dados como máximo, mínimo e frequência espacial, e também de informações fornecidas pelo usuário com respeito à utilização do mapa.

O Quadro 2 mostra como as características do fenômeno são consideradas na seleção do esquema de cores. São consideradas três as tarefas de representação: tarefa isomórfica, tarefa de segmentação e tarefa de ênfase. Na tarefa isomórfica, o objetivo é a representação fiel da realidade. Na de segmentação, é dividir os dados em categorias. Quando se deseja chamar a atenção para características particulares dos dados, tem-se a tarefa de ênfase.

A maior contribuição deste artigo (BERGMAN; ROGOWITZ; TREINISH, 1995) foi considerar a frequência espacial, e suas implicações na percepção, no processo de seleção do esquema de cores. A frequência espacial está relacionada às áreas do mapa ocupadas pelo tema. É considerada alta quando as classes correspondem a muitas pequenas áreas distribuídas pelo mapa. É baixa quando as classes ocorrem em áreas maiores, com maior continuidade. É por isso que na presença de frequência espacial alta os esquemas de cores sugeridos possuem maior luminosidade de cor, para que as pequenas áreas possam ter o devido destaque no mapa. A utilização de altos valores de luminosidade de cor em grandes áreas não é indicada, pois prejudica a percepção das outras classes. Além disso, na presença de baixa frequência espacial podem ser utilizados mais segmentos, ou seja, uma quantidade maior de classes, o que dificultaria a identificação caso a frequência espacial fosse alta. Apesar de todos os níveis de medida estarem previstos no estudo, até a publicação do artigo só haviam sido implementados os níveis numéricos.

A Figura 22 mostra alguns resultados obtidos pelo sistema PRAVDAColor para dados espaciais não geográficos. Os resultados consideram o tipo da tarefa, conforme descrito no Quadro 2, e também a frequência espacial. Ao se observar o esquema de cores correspondente, por exemplo, à tarefa de segmentação (Figura 22, quadro inferior esquerdo), verifica-se que o esquema de cores escolhido para este

conjunto de dados utiliza o tom vermelho, que corresponde ao maior destaque, para as menores áreas exibidas, e tons mais suaves para as áreas maiores.

QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DOS ESQUEMAS DE CORES DE ACORDO COM NÍVEL DE MEDIDA DO FENÔMENO, FREQUÊNCIA ESPACIAL E TAREFA DE REPRESENTAÇÃO, COM BASE EM PRINCÍPIOS DE PERCEPÇÃO VISUAL

Nível de medida	Frequência espacial	Tarefa da representação		
		Isomórfica	Segmentação	Ênfase
Razão	Baixa	<i>Luminosidade</i> : uniforme <i>Tom</i> : pares oponentes ou complementares <i>Saturação</i> : monotonicamente aumentando do cinza	Número ímpar de segmentos Suporta muitos segmentos	Maior variação para as feições que se deseja enfatizar
	Alta	<i>Luminosidade</i> : aumentando monotonicamente <i>Tom</i> : pares oponentes ou complementares <i>Saturação</i> : monotonicamente aumentando do cinza	Número ímpar de segmentos Menor quantidade de segmentos	Menor variação para as feições que se deseja enfatizar.
Intervalar	Baixa	<i>Luminosidade</i> : uniforme <i>Tom</i> : pares oponentes <i>Saturação</i> : monotonicamente aumentando do cinza	Suporta muitos segmentos	Maior variação para as feições que se deseja enfatizar
	Alta	<i>Luminosidade</i> : aumentando monotonicamente <i>Tom</i> : uniforme ou com pequenas variações de tom <i>Saturação</i> : monotonicamente diminuindo	Menor quantidade de segmentos	Menor variação para as feições que se deseja enfatizar.
Ordinal	Baixa	<i>Luminosidade</i> : uniforme <i>Tom</i> : pares oponentes ou complementares <i>Saturação</i> : monotonicamente aumentando do cinza	Menor quantidade de segmentos	Maior luminosidade nas áreas enfatizadas
	Alta	<i>Luminosidade</i> : uniforme <i>Tom</i> : pares oponentes ou complementares <i>Saturação</i> : monotonicamente aumentando do cinza	Mais segmentos	Maior saturação nas áreas enfatizadas
Nominal		<i>Luminosidade</i> : uniforme <i>Tom</i> : pares oponentes ou complementares <i>Saturação</i> : monotonicamente aumentando do cinza	Menos de 7 segmentos	Maior luminosidade ou saturação nas áreas enfatizadas

FONTE: BERGMAN, ROGOWITZ e TREINISH, 1995, p. 121

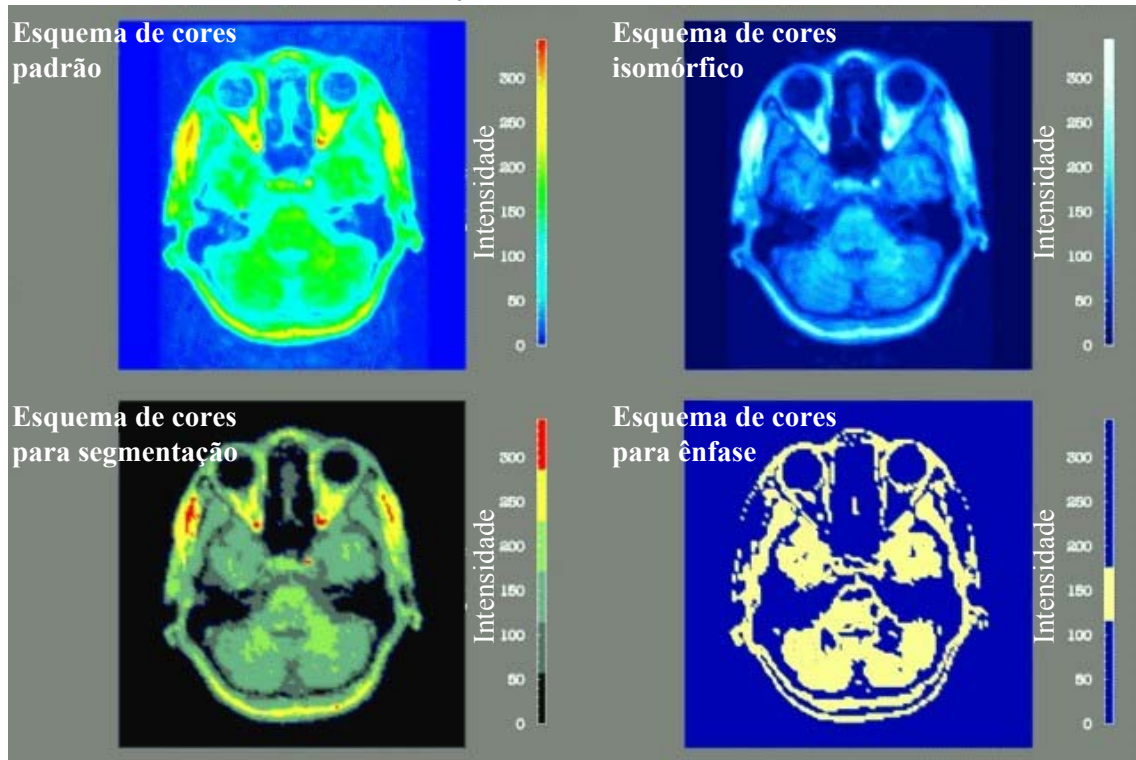
NOTA: Traduzido pela autora.

O sistema Vizard (KRETSCHMER; JASNOCH, 1999) guia e treina usuários de SIG em representação temática de dados. Ele projeta representações eficientes de conjuntos de dados relacionados. Permite selecionar aspectos de um conjunto de dados e adaptá-los a requisitos específicos. Diversas apresentações apropriadas para os dados são exibidas simultaneamente, e o usuário pode selecionar uma delas (Figura 23). O conceito de hipertexto é utilizado para fornecer explicações ao usuário sobre os motivos pelos quais um projeto em particular é apropriado para certo conjunto de dados, com “links” para um tutorial sobre visualização.

ADRIENKO e ADRIENKO (1999) descrevem o sistema Descartes, um sistema projetado para dar suporte à exploração visual de dados referenciados espacialmente. O sistema Descartes apresenta automaticamente os dados através de um mapa e permite que o usuário manipule este mapa dinamicamente. A visualização é baseada em conhecimento cartográfico temático. O usuário seleciona um ou mais fenômenos que deseja visualizar e o sistema exibe uma lista de projetos de mapas permitidos pelas características dos fenômenos escolhidos. Cada método de apresentação é baseado no uso de uma ou mais variáveis visuais, de acordo com o nível de medida do fenômeno, chamado por ADRIENKO e ADRIENKO (1999, p. 359) de nível de organização das variáveis.

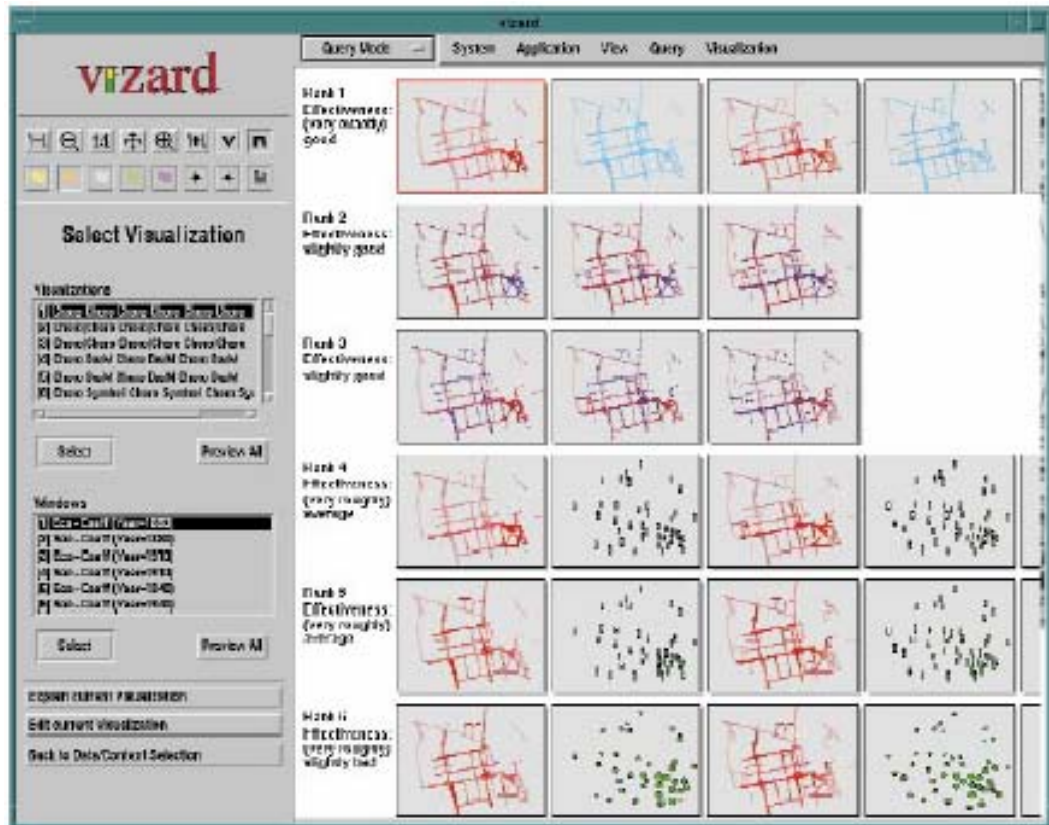
O sistema Descartes possui também uma ferramenta para classificação dinâmica visual que apresenta o diagrama de pontos da distribuição numérica do fenômeno. O usuário pode modificar a classificação movendo com o mouse os pontos de limites de classes. No caso de fenômenos com um ponto central significativo em que é utilizado um esquema de cores divergente, este também pode ser ajustado visualmente com o mouse, como mostra a Figura 24.

FIGURA 22 – EXEMPLOS DE ESQUEMAS DE CORES OBTIDOS PELO PRAVDACOLOR



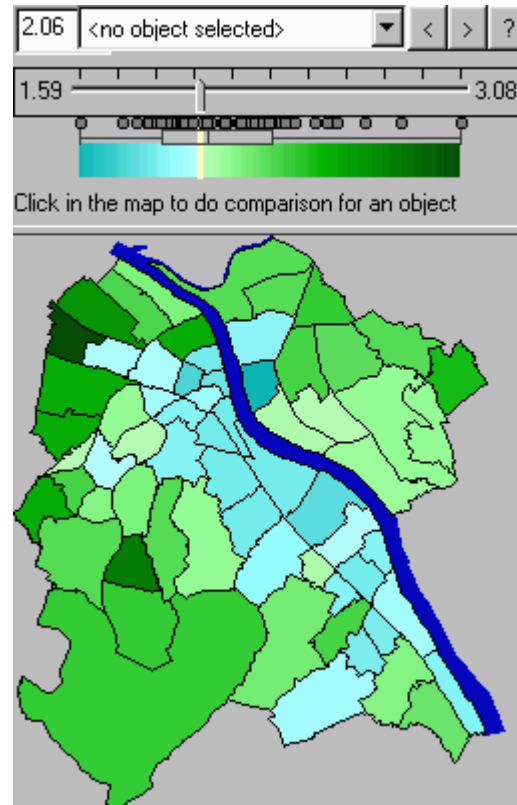
FONTE: IBM, cedido por NYU
 NOTA: Adaptado pela autora.

FIGURA 23 – SISTEMA VIZARD



FONTE: KRETSCHMER; JASNOCH, 1999, p. 16.

FIGURA 24 – TELA DO PROGRAMA DESCARTES



FONTE: ADRIENKO; ADRIENKO, 1999, p. 363

ROBBI (2000) mostra a conceituação teórica de um sistema para visualização de informações cartográficas, aplicado ao planejamento urbano. O protótipo, que permite a geração de mapas temáticos e a consulta interativa e animação de mapas, foi implementado a partir do aplicativo SPRING (INPE). O modelo conceitual foi definido com base em como os mapas são utilizados, e não apenas em como são construídos. Nesta modelagem, são abordados princípios de percepção e a classificação dos fenômenos geográficos. Este sistema utiliza o modelo para visualização cartográfica de MACEACHREN (1994, p.17) no qual o mapa pode ter diversos objetivos, como geração de hipóteses, análise de dados, suporte à decisão ou a apresentação de resultados.

De acordo com ROBBI (2000), os usuários de um sistema de visualização para planejamento urbano não são cartógrafos, e precisam ser auxiliados no processo de criação dos mapas. A classificação da informação geográfica através do nível de medida do fenômeno e da dimensão espacial permitiu a implementação de um nível de

conhecimento, que decide e apresenta ao usuário um conjunto de variáveis visuais adequado para a representação do tema. Para garantir que o usuário seguirá os passos apropriados do projeto de mapas, a seqüência de disponibilização das ferramentas é pré-definida (ROBBI, 2000). Inicialmente, o usuário deve informar ao sistema dados sobre a base cartográfica a ser utilizada, e selecionar as feições visíveis, além de indicar o nome do tema a ser representado. A seguir, deve definir a dimensão do fenômeno e o nível de medida da variável visual a ser representada (Figura 25).

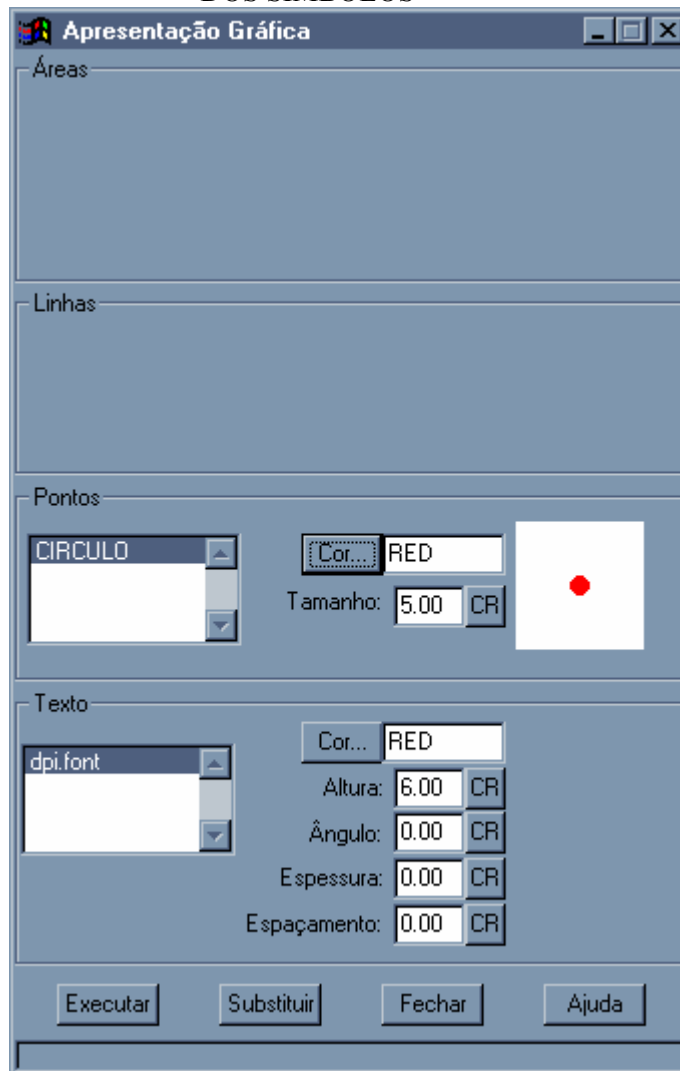
FIGURA 25 – DEFINIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO FENÔMENO NO SISTEMA PROPOSTO POR ROBBI

The image shows a software dialog box titled "Representação Temática". It is divided into two main sections for defining thematic classes. The top section is for a class named "municipal". It specifies the theme as "EscolasMantenedores", the measurement level as "nominal", and the dimension as "pontual". A list of classes includes "1. municipal", "2. estadual", and "3. privada". The "Nome" field contains "municipal" and the "Tabela" field contains "CLO00005 CR". The "Variável Visual" dropdown menu is open, showing options: "forma", "tom de cor", and "orientacao". The bottom section is for a new class, with "Nível de Medida" set to "nominal" and "Dimensão Geográfica" set to "pontual". It has empty fields for "Nome" and "Tabela". Both sections include "Criar", "Alterar", and "Suprimir" buttons. At the bottom of the dialog are "Executar", "Fechar", and "Ajuda" buttons.

FONTE: ROBBI, 2000, p. 170.

Após classificar os dados, o usuário pode escolher os atributos gráficos entre os permitidos de acordo com as informações já fornecidas. A Figura 26 mostra a janela na qual é escolhido o símbolo para determinado valor do fenômeno. Como o fenômeno é pontual, não são exibidas as opções para alterar os atributos gráficos de áreas ou linhas. Além disso, não é possível variar a forma do símbolo pontual, já que o nível de medida do fenômeno é ordinal.

FIGURA 26 – FERRAMENTA PARA DEFINIÇÃO DOS SÍMBOLOS



FONTE: ROBBY, 2000, p. 177.

KUHN (2001) sugere que uma ontologia para informações geoespaciais deve ter, além das relações usuais em ontologia como é-um, parte-de, também relações topológicas como é-limitado-por e é-adjacente-a, e propõe um método para geração

automática de ontologias a partir de um documento em linguagem natural (em alemão) descrevendo atividades humanas em domínios geográficos.

FABRIKANT e BUTTENFIELD (2001) propõem a aplicação de conceitos cognitivos e espaciais para a exploração, navegação e extração de conhecimento em conjuntos de dados muito grandes (“very large datasets”), arquivos digitais e informações geográficas “online”. Um dos módulos propostos é um sistema de visualização de informações através da metáfora espacial, ou seja, dados não espaciais são vistos espacialmente, posicionados de acordo com suas categorias ou outra forma de indexação.

Entre os sistemas encontrados, verifica-se a tendência de visualização de dados espaciais independentemente de sua característica geográfica. Isto ocorre porque todos os princípios de visualização cartográfica podem ser estendidos para outros tipos de informações espaciais, como dados médicos ou peças mecânicas. Por isso, acredita-se que a formalização desenvolvida neste trabalho pode ser aplicada a diversos tipos de visualização.

Os sistemas analisados possuem o objetivo de facilitar a visualização de dados espaciais, e pode ser observada uma preferência por apresentar ao usuário diversas soluções para que ele decida qual a mais apropriada. Esta é uma abordagem válida, uma vez que sempre existem várias possibilidades para a representação de um mesmo conjunto de dados de forma eficiente. Entretanto, não foi encontrado nenhum sistema que apresente uma solução “default” adequada, com base apenas nas características dos dados, sem que o usuário precise escolher entre diversas soluções disponíveis.

5 METODOLOGIA

O problema de construir um projeto cartográfico temático está entre as tarefas propícias para realização por um sistema inteligente. Entre os indicativos citados por ABEL (1998, p. 6) e apresentados na Seção 3.2, a solução deste problema “reflete a forma de resolver problemas de um ou mais especialistas humanos”, ou seja, não há uma única forma de resolver o problema, e sim a abordagem utilizada por diferentes especialistas. Em uma mesma situação, diferentes cartógrafos produzem diferentes mapas, ambos com boa qualidade de comunicação cartográfica. Além disso, o projeto de símbolos envolve, predominantemente, tarefas de natureza simbólica.

Entre os tipos de sistemas citados por ABEL (1998, p. 7), o projeto cartográfico e, mais especificamente, o projeto de símbolos, pode ser classificado como um sistema de projeto (Seção 3.2), pois a definição da linguagem cartográfica corresponde ao desenvolvimento de configurações de objetos que satisfazem determinados requisitos ou restrições, representados pelos princípios de projeto cartográfico temático.

Para o projeto do sistema baseado em conhecimento, foram consideradas as etapas propostas por ROLSTON (1988, p. 140), que seguem um modelo iterativo e interativo (Figura 21 da Seção 3.2.1). De acordo com esta metodologia, a primeira etapa consiste na *seleção do problema*, através de uma análise do domínio para o qual se deseja construir o sistema. Para tanto, todos os aspectos a serem decididos durante o projeto cartográfico temático foram avaliados quanto à formalização existente e subjetividade implícita. Algumas destas decisões não estavam precisamente descritas, e isto foi necessário para a realização desta análise, que está descrita na Seção 5.1.

A etapa seguinte proposta por ROLSTON (1988, p. 140) é a *formalização*, realizada neste sistema através da construção de uma ontologia para todo o domínio de projeto cartográfico temático, utilizando como ferramenta o programa Protégé-2000. A ontologia permitiu a estruturação do conhecimento sobre este domínio, fornecendo o

vocabulário adequado para a construção da base de conhecimentos através da definição dos conceitos de projeto cartográfico temático e do relacionamento entre estes conceitos. Foram incluídos apenas os conceitos envolvidos em alguma tomada de decisão. Esta ontologia foi construída com o auxílio do programa Protégé-2000 (SU) e é apresentada na Seção 5.2.

O *protótipo funcional* foi implementado apenas para a definição da linguagem cartográfica, foco principal deste estudo. No protótipo implementado, informações a respeito do fenômeno são solicitadas ao usuário. A partir das respostas fornecidas, o sistema oferece uma solução para a linguagem cartográfica a ser utilizada no mapa.

Como o objetivo é validar as regras a serem utilizadas no sistema final, não há preocupação com interface, o sistema não acessa dados geográficos nem gera símbolos gráficos, mas apresenta a descrição completa da linguagem cartográfica através dos valores encontrados pelo sistema para variáveis tais como *forma*, *tamanho* e *tom de cor*. A descrição deste sistema encontra-se na Seção 5.3, e uma listagem completa das regras de produção, no Apêndice 1.

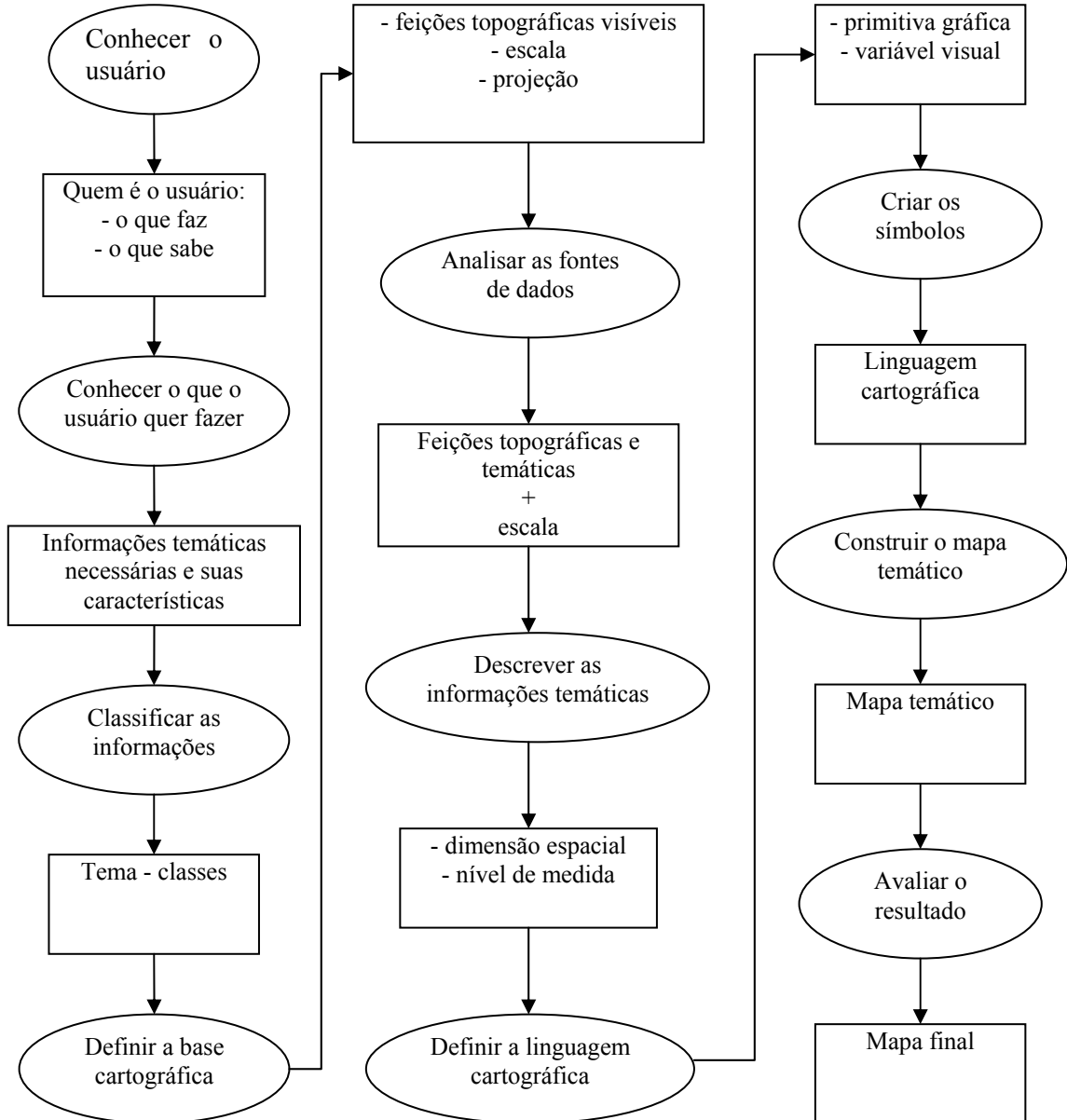
Após a validação da base de conhecimentos, uma interface gráfica para a visualização dos resultados foi implementada em Visual C++ (GREGORY, 1998), com o uso da biblioteca MFC (“Microsoft Foundation Classes”). Foi utilizado o desenvolvimento orientado a objetos. As classes foram construídas com base na ontologia obtida e estão, com seus respectivos atributos e métodos, representados na linguagem de especificação UML, “Unified Modeling Language” (FURLAN, 1998), como apresentado na Seção 6.

5.1 ANÁLISE DAS DECISÕES ENVOLVIDAS NO PROJETO CARTOGRÁFICO TEMÁTICO

A partir dos diagramas de BOS (1984, p. 83-85) e SGK (1977, p. 16), foi elaborado um diagrama mais detalhado para a construção de mapas temáticos, em que

as elipses representam as ações do cartógrafo e os retângulos, os resultados obtidos após a execução da ação (Figura 27).

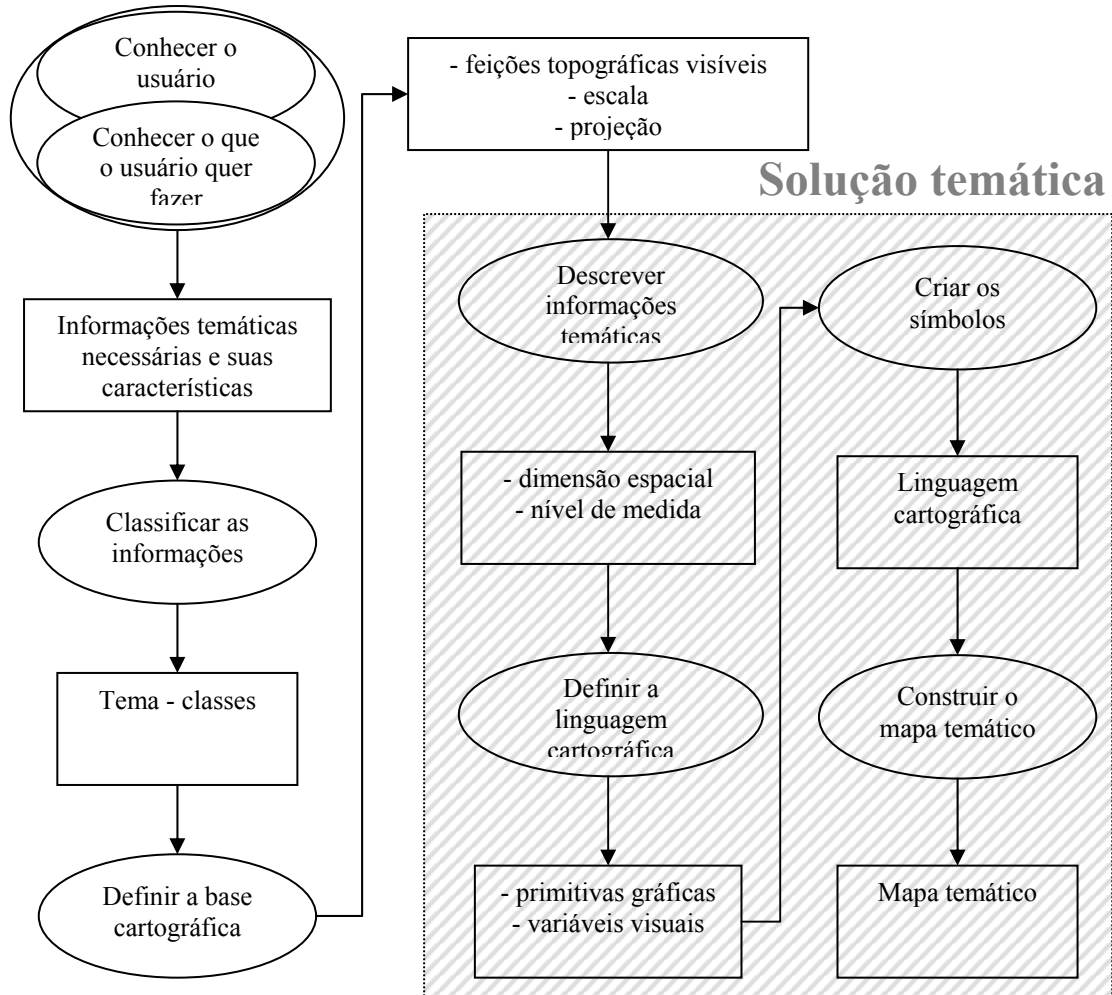
FIGURA 27 – AÇÕES DO CARTÓGRAFO



As ações representadas neste diagrama foram então agrupadas considerando o tipo da ação conforme mostra a Figura 28. As tarefas que envolvem interação com o usuário, “conhecer o usuário” e “conhecer o que o usuário quer fazer” foram agrupadas. O mesmo ocorreu com as tarefas que envolvem análise da base cartográfica, como “definir a base cartográfica” e “analisar as fontes de dados”. Na

Figura 28, a parte hachurada representa a solução temática do mapa. A seguir, realizou-se uma análise de cada uma destas ações, identificando em que e como o cartógrafo pode ser auxiliado pelo sistema especialista em sua realização.

FIGURA 28 – DIAGRAMA REMODELADO



Para conhecer o usuário, o sistema pode fazer perguntas como sua idade, profissão, grau de instrução e experiências anteriores na utilização de mapas. Em um sistema ideal completo, estas informações são armazenadas em um perfil, que é recuperado sempre que este usuário acessar o sistema. Este perfil pode auxiliar na definição da solução temática de diversas maneiras. Por exemplo, para usuários muito jovens ou crianças, símbolos pictoriais são em geral mais aconselháveis que símbolos geométricos na representação de fenômenos pontuais. Já para usuários experientes, pode ser mais rápida a *discriminação* (KEATES, 1988, p. 11) de formas geométricas

quando é utilizada a variável visual *forma* do que entre símbolos pictoriais semelhantes como, por exemplo, uma casa e uma igreja.

A seguir, também são feitas perguntas sobre o que o usuário quer fazer e do que necessita. Estas perguntas não são apenas sobre a região a ser mapeada, mas também sobre a finalidade do mapa, como por exemplo planejamento, estudo científico ou fins didáticos. O domínio da aplicação, ou seja, dos fenômenos espaciais a serem mapeados, como geologia, botânica ou urbanismo, também pode ser útil em diversas etapas do projeto temático.

A ação de classificação das informações temáticas não parece adequada para automatização por apresentar um elevado grau de subjetividade. Entretanto, algumas possibilidades podem ser consideradas, como o uso de aprendizagem pelo sistema e abordagens dependentes do domínio. Para a implementação da primeira sugestão, o sistema “aprende” com o usuário como realizar esta classificação, através de técnicas como redes neurais e raciocínio baseado em casos. Já no segundo caso, um “banco de domínios” é armazenado, e são definidas regras para classificação exclusivamente nestes domínios, com o auxílio de ontologias específicas. Isto pode ser implementado para os domínios mais comuns, como planejamento urbano e geologia, e permitir que o usuário defina seu próprio domínio. Pode ser utilizada ainda uma combinação das duas abordagens.

O sistema pode ajudar a selecionar as feições topográficas a serem apresentadas como base cartográfica do mapa temático, em especial alertando o usuário caso ocorra a escolha de muitas feições simultaneamente, o que prejudica a percepção das informações temáticas. Em abordagens dependentes do domínio, pode sugerir a inclusão de determinadas feições topográficas. Através de interações com o usuário, o sistema pode auxiliar na definição da escala e projeção cartográfica apropriada. Conforme a relação entre a escala dos dados e a escala desejada para o mapa, pode ser necessário um processo de generalização. Na cartografia tradicional, este processo não é baseado na seleção de pontos (nível geométrico), mas sim na

preservação da natureza do fenômeno. Logo, uma abordagem baseada em conhecimento para generalização cartográfica automática deve primeiro identificar o tipo de fenômeno a ser generalizado e então utilizar regras e procedimentos específicos para o mesmo.

Um sistema baseado em conhecimento também pode verificar a adequação do material-fonte, no que diz respeito à acurácia e precisão necessárias. A atualização da base cartográfica pode ser parcialmente automatizada, por exemplo, através da inserção de fotos aéreas, imagens de satélite ou outras fontes de dados. IRIT (2000) descreve um sistema especialista que utiliza lógica fuzzy na classificação de imagens de satélite, para identificação de tipos de vegetação.

Na descrição das informações temáticas, a dimensão espacial pode ser determinada pela relação entre a escala e a feição representada, que é obtida da fonte de dados temáticos. Por exemplo, na fonte de dados tem-se o valor do fenômeno espacial armazenado em relação às cidades, que não podem ser representadas como áreas na escala escolhida. Logo, a dimensão espacial do fenômeno será *ponto*. Quanto ao nível de medida, o *numérico* pode ser identificado pela análise dos dados temáticos e a diferenciação entre os níveis de medida *nominal* e *ordinal* pode ser realizada através de abordagens dependentes do domínio da aplicação. Por exemplo, em um sistema viário urbano, as ruas podem ser classificadas de acordo com o tipo de pavimentação, como asfalto, saibro e paralelepípedo. Um sistema que não possua informações específicas sobre o domínio de sistema viário urbano não conseguiria distinguir esta classificação nominal da classificação ordinal presente na estrutura viária, que classifica as ruas como vias de ligação prioritária, vias setoriais e vias coletoras. Para que esta identificação seja realizada, o sistema deve possuir informações sobre o significado destes termos, ou pelo menos sobre a relação nominal ou ordinal entre eles.

De acordo com a dimensão espacial, algumas primitivas gráficas podem ser sugeridas, e podem ser evitadas escolhas inapropriadas, como o uso de pontos para

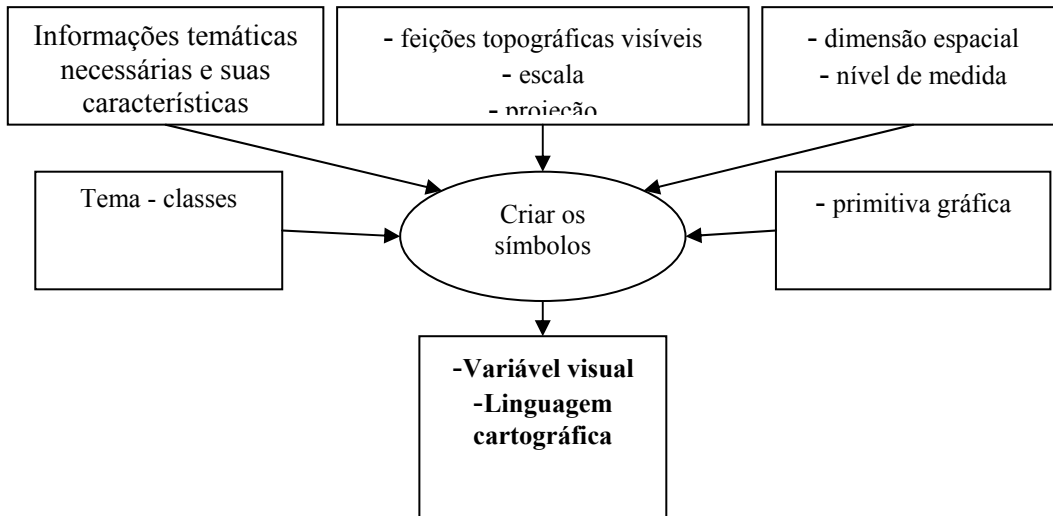
fenômenos lineares. Ainda para a definição da linguagem cartográfica, também pode ser obtida a variável visual mais adequada para representar o tema, através de análises que consideram a primitiva gráfica e o nível de medida do fenômeno.

A construção dos símbolos cartográficos consiste em definir as cores, formas e tamanhos a serem utilizados na representação do fenômeno. Apesar de envolver aspectos subjetivos e estéticos, algumas verificações podem ser realizadas por um sistema baseado em conhecimento para garantir a qualidade do mapa.

A aplicação das definições dos símbolos e a geração do mapa é uma tarefa essencialmente mecânica, e pode ser automatizada sem o auxílio de um sistema baseado em conhecimento. Entretanto, pode-se melhorar alguns aspectos da apresentação do mapa, como a posição relativa entre a toponímia e os símbolos gráficos ou outras medidas para melhorar a visibilidade e legibilidade do mapa. O posicionamento automatizado de grandes números de objetos cartográficos discretos é descrito em (MACKANESS, 2001). Diversas posições são testadas, e é adotada a que provoca menos sobreposição com feições vizinhas. O sistema pode realizar uma avaliação da imagem criada, em função dos dados fornecidos, e fazer perguntas adicionais ao usuário para melhorar a solução.

O protótipo desenvolvido implementa a ação *criar os símbolos*, conforme mostrado na Figura 29, gerando a definição da linguagem cartográfica. Para a execução desta ação, devem estar disponíveis dados sobre as informações temáticas necessárias e suas características, quais serão as feições topográficas visíveis (base cartográfica do mapa temático), assim como a escala e a projeção utilizadas, a dimensão espacial e nível de medida das informações temáticas, as primitivas gráficas e variáveis visuais utilizadas. O módulo implementado também auxilia o usuário na definição da variável visual, em função do nível de medida e da primitiva gráfica utilizada.

FIGURA 29 – AÇÃO DE “CRIAR OS SÍMBOLOS”



5.2 ONTOLOGIA CONSTRUÍDA

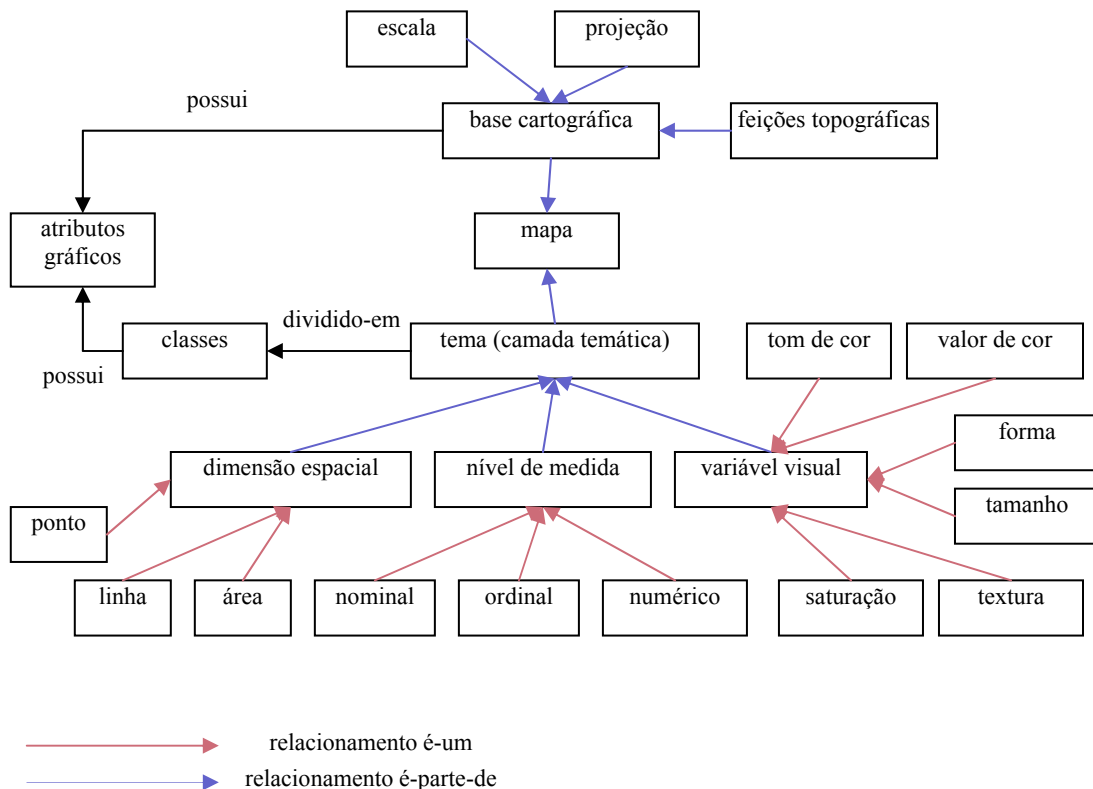
Para formalizar os conceitos envolvidos no projeto cartográfico temático e seus relacionamentos, foi construída uma ontologia, ou modelo conceitual, para este domínio. Esta ontologia, como qualquer modelo, não relaciona todos os conceitos do mundo real, mas apenas os conceitos relevantes para constituir uma determinada visão do domínio no mundo real.

Esta ontologia oferece a sustentação para a criação da base de conhecimentos, e para a implementação do sistema. A estrutura ontológica obtida neste trabalho é mostrada na Figura 30. Os relacionamentos “é-um” e “parte-de” foram representados por setas de cores diferentes porque sua ocorrência é bastante freqüente, e sua discriminação no próprio diagrama pode dificultar o entendimento deste.

Nesta ontologia, os relacionamentos “é-um” indicam “instâncias”, ou “valores possíveis” dos conceitos. Isto não é uma regra geral nas estruturas ontológicas, mas ocorreu com todos os conceitos nesta ontologia. Isto quer dizer que, por exemplo, o conceito “nível de medida” pode ter os valores “nominal”, “ordinal”, ou “numérico”. Especificando um pouco mais o conceito “atributos gráficos”, tem-se a estrutura da Figura 31, em que isto não ocorre, ou seja, os relacionamentos “é-um” não indicam

instâncias do conceito “atributo gráfico”. O conceito “tom de cor” é um “atributo gráfico”, mas não é um valor possível para “atributo gráfico”, que é um conceito abstrato, pois serve apenas para agrupar os conceitos dos diversos atributos gráficos. Isso é importante não apenas sob a ótica conceitual, mas também para garantir-lhes um tratamento uniforme na implementação do sistema. Apenas as classes concretas como “nível de medida” (Figura 30) e “atributo tom de cor” (Figura 31) possuem instâncias. Para este último, as instâncias poderiam ser, por exemplo, valores como “vermelho”, “azul”, ou “verde”, ou então especificações mais precisas em algum sistema de cor, como RGB, CMYK ou HSV.

FIGURA 30 – ESTRUTURA ONTOLÓGICA



A seguir, esta estrutura foi inserida na ferramenta Protégé 2000, que faz verificações de consistência e facilita a edição da ontologia. A Figura 32 mostra uma tela deste programa, em que se pode observar uma visão parcial da ontologia. À esquerda é apresentada a estrutura da ontologia, mas não é possível se ver globalmente nesta tela os tipos de relacionamentos entre os conceitos, como todos os tipos de

variável visual e sua relação com o conceito “variável visual”. O programa permite a distinção entre classes concretas e abstratas, e a definição de uma classe como instância de outra, ou como um de seus atributos.

FIGURA 31 – ESPECIFICAÇÃO DO CONCEITO “ATRIBUTOS GRÁFICOS”

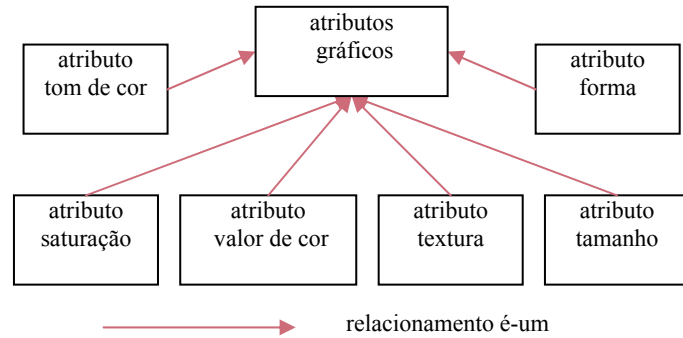


FIGURA 32 – ONTOLOGIA NO PROGRAMA PROTEGE-2000

Protégé-2000

Project Window Help

Classes Slots Forms Instances Queries

Relationship Superc... V C

Relationship

- THING
 - SYSTEM-CLASS
 - MAPA
 - BASE CARTOGRÁFICA
 - ESCALA
 - PROJEÇÃO
 - FEIÇÕES VISÍVEIS
 - TEMA
 - DIMENSÃO ESPACIAL
 - PONTO**
 - LINHA
 - ÁREA
 - NÍVEL DE MEDIDA
 - NOMINAL
 - ORDINAL
 - NUMÉRICO
 - VARIÁVEL VISUAL
 - TAMANHO
 - VALOR
 - TOM DE COR
 - SATURAÇÃO
 - ORIENTAÇÃO
 - FORMA
 - ARRANJO
 - TEXTURA

Name: PONTO

Documentation: Esta será a dimensão espacial quando não é necessário representar nenhuma das dimensões do fenômeno. Depende da escala escolhida.

Role: Concrete

Template Slots

Name	Type	Cardinality	Other Facets
S tipo-de	Class	single	parents={DIMENSÃO ESPACIAL}

Para cada conceito definido, pode ser inserida uma documentação, ou seja, uma definição do conceito, além de suas relações com os outros conceitos, através dos *slots* ou atributos. As definições dos conceitos inseridas na ontologia no programa Protégé-2000 estão no Quadro 3. Algumas definições parecem simplistas, como a definição de “mapa” como “forma de apresentação de dados espaciais”, mas elas representam o nível conceitual utilizado no sistema, ou seja, neste caso, qualquer apresentação de dados espaciais pode ser considerada como um mapa e ter todas as características indicadas na estrutura ontológica.

QUADRO 3 – DEFINIÇÃO DOS CONCEITOS UTILIZADOS

CONCEITO	DEFINIÇÃO ADOTADA
área	dimensão espacial utilizada quando é necessário representar a área da feição à qual está associado o fenômeno
atributos gráficos	características gráficas dos símbolos cartográficos
base cartográfica	feições topográficas selecionadas para o mapa temático e sua forma de apresentação
classes	agrupamento dos valores do fenômeno que têm uma característica em comum
dimensão espacial	dimensão da representação do fenômeno na escala considerada
escala	relação entre distâncias no mapa e distâncias no terreno
feições topográficas	feições visíveis do meio
forma	forma geométrica ou pictográfica dos símbolos pontuais ou arranjo utilizado nos símbolos lineares
linha	dimensão espacial utilizada quando é necessário representar apenas o comprimento da feição à qual está associado o fenômeno
mapa	forma de apresentação de dados geográficos
nível de medida	nível de informação com o qual se conhece o fenômeno
nominal	nível de medida do fenômeno quando seus diferentes valores são apenas categorizados
numérico	nível de medida do fenômeno quando seus valores são numéricos
ordinal	nível de medida do fenômeno quando seus diferentes valores possuem alguma ordem específica, como importância ou disponibilidade
ponto	dimensão espacial utilizada quando não é necessário representar nenhuma das dimensões da feição à qual está associado o fenômeno
projeção	sistema de projeção cartográfica: parâmetros utilizados na transformação da superfície curva da Terra em um plano (o mapa).
saturação	o quanto a cor se afasta da cor neutra (cinza)
tamanho	área ocupada pelo símbolo pontual, ou largura do símbolo linear
tema (camada temática)	fenômeno geográfico a ser representado e suas características
textura	freqüência espacial dos componentes de um padrão
tom de cor	variação qualitativa da cor
valor de cor	quantidade de luz branca incidente na cor
variável visual	atributo gráfico que define as variações nas primitivas gráficas correspondentes às diferentes representações das diferentes classes temáticas

A ontologia foi definida para todo o domínio de projeto cartográfico temático. Obteve-se, assim, a formalização dos termos a serem utilizados na construção do sistema. Caso o sistema implementado venha a ser integrado com outro sistema, baseado em conhecimento ou não, esta formalização serve de apoio para a transformação e correlação entre os diferentes termos utilizados. Além disso, pode ser o alicerce para implementações futuras.

5.3 SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO

Todo o projeto cartográfico temático foi considerado no desenvolvimento do sistema baseado em conhecimento, mas apenas o projeto da linguagem cartográfica foi implementado no protótipo. Conforme a definição de RUSSELL e NORVIG (1995, p. 37) de percepções e ações citada na Seção 3.2.1, a descrição PAGE para o sistema proposto pode ser vista no Quadro 4.

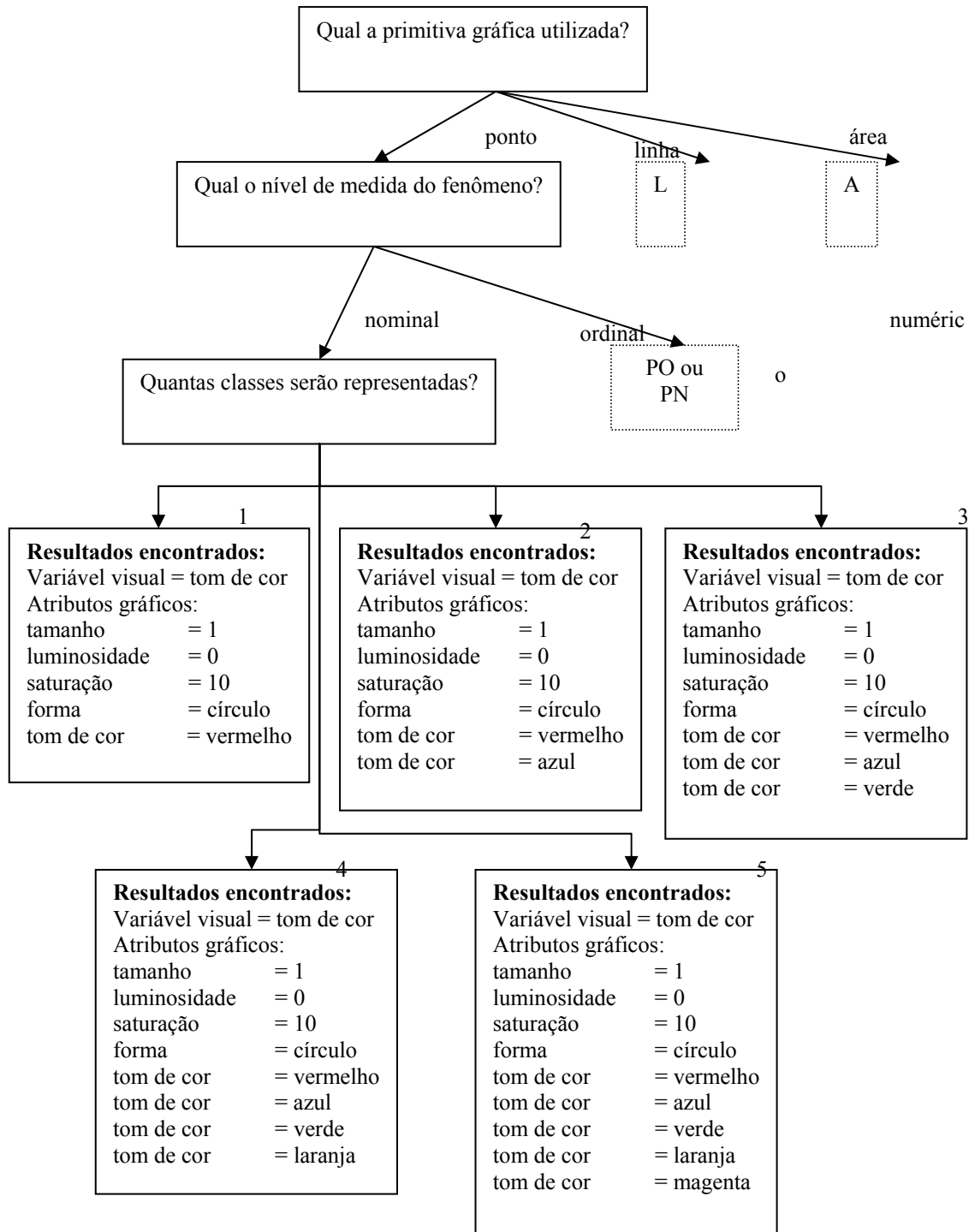
QUADRO 4 – DESCRIÇÃO PAGE PARA O SISTEMA PROPOSTO

TIPO DO AGENTE	PERCEPÇÕES	AÇÕES	OBJETIVOS	AMBIENTE
sistema de auxílio ao projeto cartográfico	dados sobre o usuário, dados geográficos, dados sobre a visualização, respostas do usuário	perguntas, leitura de dados, apresentação de dados	melhor visualização dos dados geográficos	dados geográficos

O comportamento de um sistema especialista pode ser representado por uma árvore de decisão, que expressa as decisões tomadas pelos especialistas envolvidos em sua construção. A árvore de decisão que representa o comportamento do sistema implementado pode ser visualizada na Figura 33. Cada retângulo representa uma pergunta realizada pelo sistema especialista ao usuário, e as ramificações geradas, as possíveis respostas. Estas perguntas foram implementadas desta forma com o objetivo de simplificar o sistema e isolar os elementos relevantes para a tomada de decisão. É possível implementar um sistema que busque estas informações em algum arquivo ou a partir de outros dados, ao invés de perguntar ao usuário. Cada resposta leva a um caminho diferente na árvore, que levará a um resultado diferente. Os retângulos

tracejados indicam que a árvore continua, apenas não está completamente representada neste diagrama. As outras decisões envolvidas estão explicadas no texto e no diagrama da Figura 34.

FIGURA 33 – ÁRVORE DE DECISÃO DO SISTEMA IMPLEMENTADO



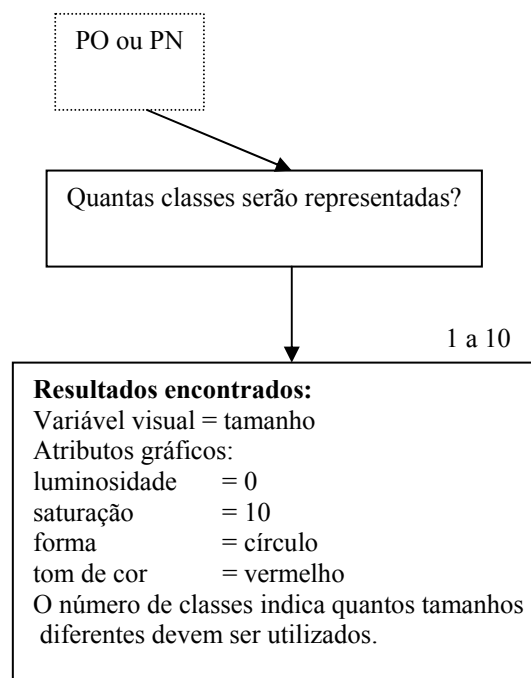
As folhas, ou ramos terminais da árvore, mostram o resultado encontrado após a seqüência de respostas determinada pelo caminho seguido na árvore, ou seja, o primeiro conjunto de resultados aparecerá caso as respostas tenham sido aquelas indicadas no Quadro 5.

QUADRO 5 – POSSÍVEL SEQÜÊNCIA DE RESPOSTAS DO USUÁRIO

PERGUNTA	RESPOSTA
Qual a primitiva gráfica utilizada?	ponto
Qual o nível de medida do fenômeno?	nominal
Quantas classes serão representadas?	1

A Figura 34 mostra a continuação do ramo da árvore rotulados como “PO ou PN” na Figura 33, significando, respectivamente, ponto ordinal e ponto numérico. Esta Figura mostra, de forma simplificada, que na ocorrência de ambos os níveis de medida, ordinal ou numérico, a variável visual sugerida será tamanho. Os tamanhos de cada símbolo são definidos a partir de uma tabela fixa de tamanhos (DENT,1999, p. 183), através de uma escolha seqüencial de n tamanhos diferentes, sendo n o número de classes representadas, de acordo com a abordagem da amplitude classificada, apresentada na Seção 2.2.

FIGURA 34 – PONTO ORDINAL OU PONTO NUMÉRICO

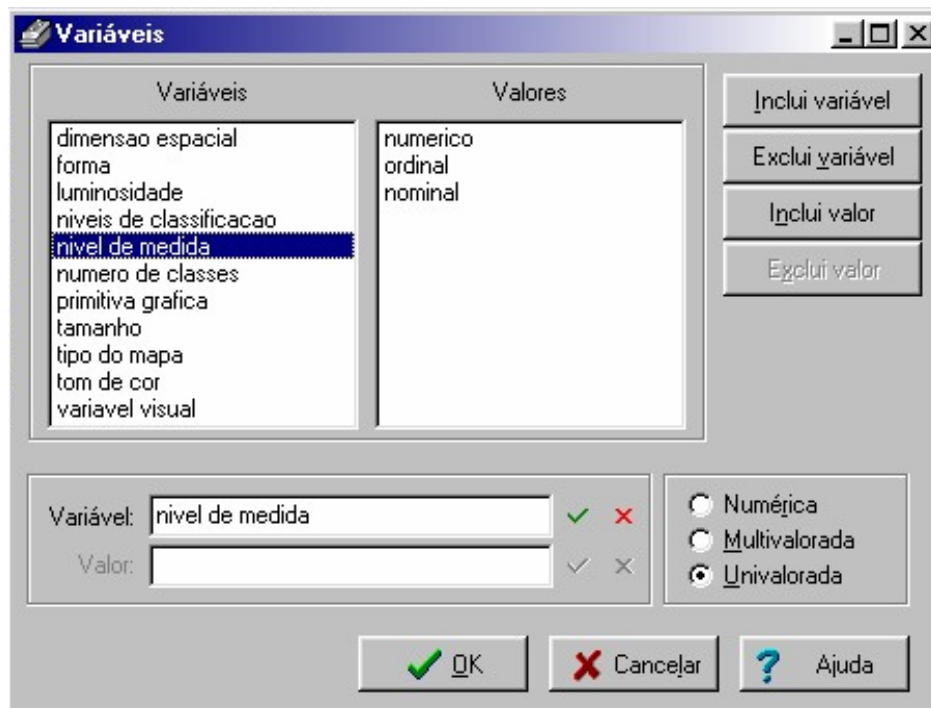


Os outros dois caminhos da árvore da Figura 33 são L e A, que representam, respectivamente, os resultados para as primitivas gráficas “linha” e “área”. Para a primitiva gráfica “linha”, a decisão adotada foi de utilizar a variável visual “arranjo” para o nível nominal, e “tamanho”, que representa a largura da linha, para os níveis “ordinal” e “numérico”, permitindo até cinco classes. A variável visual “arranjo” é denominada na ontologia deste sistema de “forma”. Para a primitiva gráfica “área”, “tom de cor” foi a variável visual escolhida para o nível “nominal”. Para os níveis “ordinal” e “numérico”, a sugestão é utilizar a variável “luminosidade” no tom “vermelho” até cinco classes, ou combinado com o “amarelo”, para até oito classes.

As decisões foram implementadas utilizando regras de produção no ambiente Expert Sinta/Dise (UFC), apresentado na Seção 3.2. No protótipo implementado, informações a respeito do fenômeno são solicitadas ao usuário. A partir das respostas fornecidas, o sistema oferece uma solução para a linguagem cartográfica a ser utilizada no mapa, exatamente como apresentado na árvore de decisão.

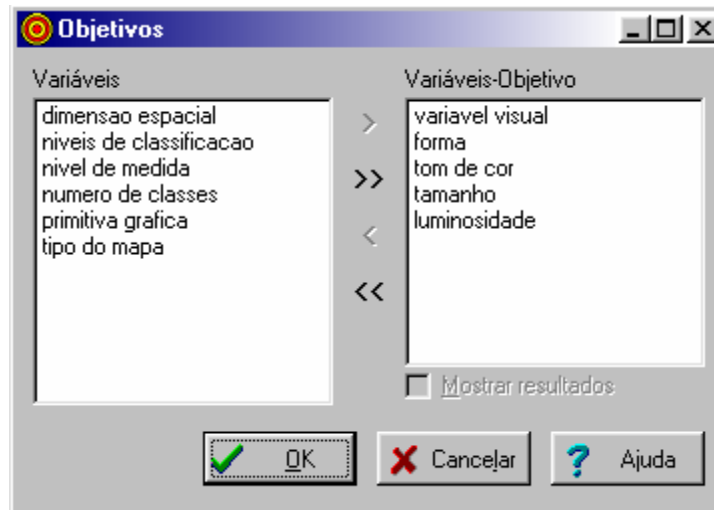
Para a construção do protótipo no ambiente Sinta, inicialmente são definidas as variáveis e seus valores possíveis, como mostra a Figura 35.

FIGURA 35 – DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS E SEUS VALORES NO SINTA



A seguir, algumas destas variáveis são selecionadas como “variáveis-objetivo”, como pode ser visto na Figura 36. Estas são as variáveis cujo valor deve ser encontrado pelo sistema, ou seja, a definição da linguagem cartográfica.

FIGURA 36 – VARIÁVEIS-OBJETIVO



As regras são então construídas para permitir a atribuição adequada destes valores. Para este protótipo, foram construídas 27 regras no total. Alguns exemplos de regras utilizadas no sistema são apresentados a seguir. Todas as regras do protótipo estão listadas no Apêndice 1.

Regra 2

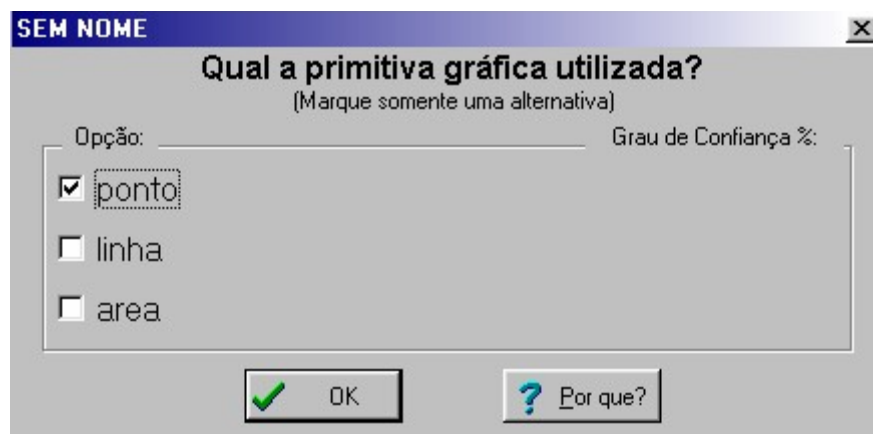
SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 1
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%

Regra 24

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 2
 ENTÃO variavel visual = luminosidade CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = sólida CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 luminosidade = 1 CNF 100%

Estas informações são armazenadas em uma base de conhecimentos, que é interpretada por este ambiente. Ou seja, é necessária a execução do aplicativo Expert Sinta para colocar em funcionamento o protótipo. A interface é fornecida automaticamente pelo ambiente, como mostram as Figuras 37 e 38. As perguntas são definidas para cada variável, e seus valores possíveis são apresentados na forma de opções para o usuário, como na Figura 37.

FIGURA 37 – INTERFACE DAS PERGUNTAS NO AMBIENTE SINTA



Como o objetivo é validar as regras a serem utilizadas no sistema final, não há preocupação com interface, o sistema não acessa dados geográficos nem gera símbolos gráficos, mas apresenta a descrição completa da linguagem cartográfica através dos valores encontrados pelo sistema para variáveis como “forma”, “tamanho” e “tom de cor”, como na Figura 38, que mostra o resultado da variável “tom de cor” após uma consulta em que as respostas fornecidas foram “ponto”, “nominal”, quatro classes.

FIGURA 38 – INTERFACE DOS RESULTADOS NO SINTA

The screenshot shows a window titled "Resultados" with a close button. The main heading is "tom de cor". Below it is a table with two columns: "Valor" and "CNF (%)". The table contains four rows of data. To the right of the table are two buttons: "Fechar" with a red X icon and "Ajuda" with a question mark icon.

Valor	CNF (%)
vermelho	100
azul	100
verde	100
laranja	100

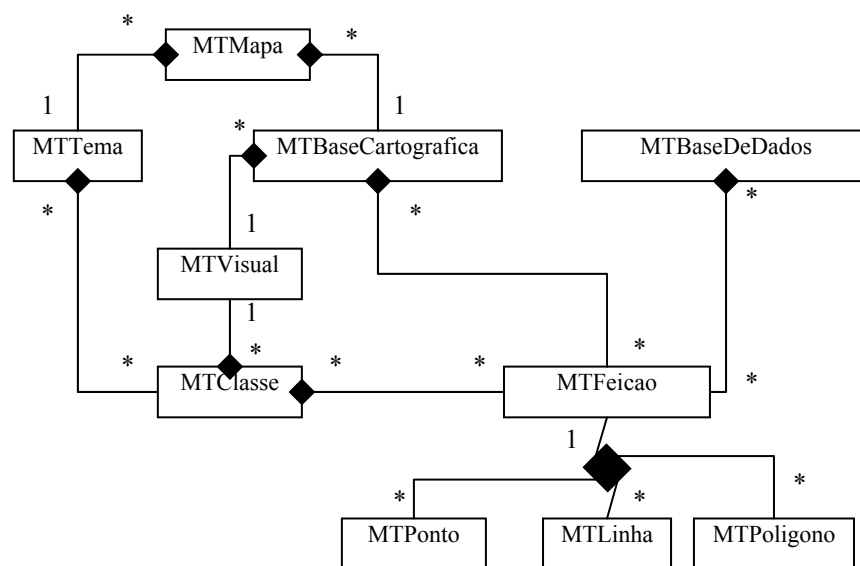
Após a validação da base de conhecimentos, uma interface gráfica para a visualização dos resultados foi implementada em Visual C++, com o uso da biblioteca MFC (“Microsoft Foundation Classes”).

6 IMPLEMENTAÇÃO

O sistema implementado em Visual C++ foi desenvolvido de acordo com o paradigma de orientação a objetos. As classes foram definidas a partir da ontologia descrita na Seção 5.2, e descritas através da linguagem de especificação UML (*Unified Modeling Language*). A biblioteca MFC (*Microsoft Foundation Classes*) foi utilizada na construção das interfaces gráficas.

O projeto das classes pode ser visualizado no diagrama da Figura 39. Na notação UML, os retângulos representam as classes e as linhas, as relações ou associações entre elas. O losango preenchido representa uma composição e os números indicam a quantidade de objetos permitidos na associação. Por exemplo, cada objeto instância da classe MTClasse pode estar associado a um único objeto da classe MTVisual, que por sua vez pode estar associado a qualquer número de objetos MTClasse, situação representada pelo *. A composição é indicada na classe composta, ou seja, no diagrama da Figura 39, um objeto da classe MTMapa possui como atributos um objeto da classe MTTema e um objeto da classe MTBaseCartografica. As classes para interface (janelas) e serialização (leitura e gravação de arquivos) não estão representadas.

FIGURA 39 – DIAGRAMA DE CLASSES

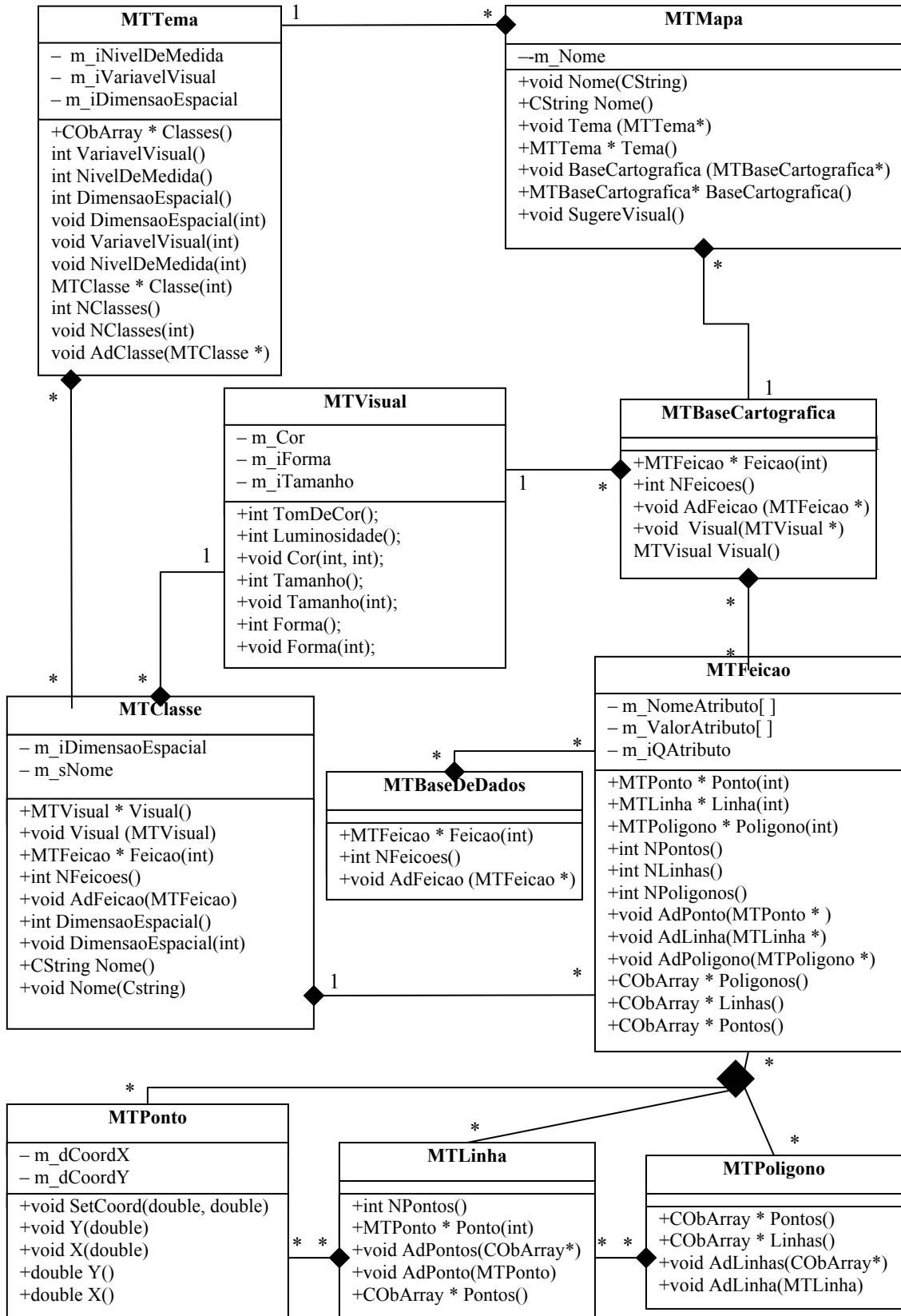


Estas classes foram projetadas de acordo com a ontologia mostrada na Figura 30 (Seção 5.2). A partir do conceito “mapa”, foi gerada a classe “MTMapa”, que possui como atributos o nome do mapa e objetos das classes MTBaseCartográfica e MTTema, pois estes conceitos estavam conectados na ontologia por relacionamentos do tipos “possui”. Isto é representado na notação UML através da relação de composição (losango) ou “todo-parte”. O conceito “atributos gráficos” da ontologia foi implementado como a classe “MTVisual”, e está relacionado a cada classe pertencente ao tema, e também à base cartográfica, ou seja, as classes “MTClasse” e “MTBaseCartográfica” possuem como atributo um objeto da classe “MTVisual” que contém os atributos gráficos cor, forma e tamanho. O atributo “m_Cor” foi implementado como um atributo de duas dimensões, “tom de cor” e “luminosidade”. O conceito de “variável visual” foi implementado como um atributo de “MTTema”, com valores possíveis que representam os conceitos de “tom de cor”, “luminosidade”, “forma” e “tamanho”. De forma semelhante, os conceitos “dimensão espacial” e nível de medida” também são atributos de MTTema.

A Figura 40 mostra o diagrama de classes com seus atributos e métodos. Atributos são como variáveis encapsuladas na classe, e métodos são como funções que atuam sobre o objeto, e que são ativadas através de mensagens ao objeto. A classe MTFeição possui como atributos um conjunto de pontos, linhas ou polígonos, implementados através de vetores de objetos. Por exemplo, um rio pode ser representado por um conjunto (vetor ou *array*) de linhas. Uma feição como um rio também pode ter atributos como nome, dimensão, volume, atividade econômica predominante, entre outros. Estas características são armazenadas através dos atributos “m_NomeAtributo” e “m_ValorAtributo”, na classe MTFeição, e a quantidade de informações deste tipo armazenadas para certa feição pode ser obtida pela verificação do valor do atributo “m_iQAtributo”. Os métodos são, em sua maioria, do tipo *get* e *set*, ou seja, como os atributos da classe são privados, não é possível verificar ou alterar o seu valor diretamente, sendo necessária a utilização de um método definido

para este fim. Na Figura 40, o sinal “-“ indica privado e “+”, público (pode ser acessado por outras classes).

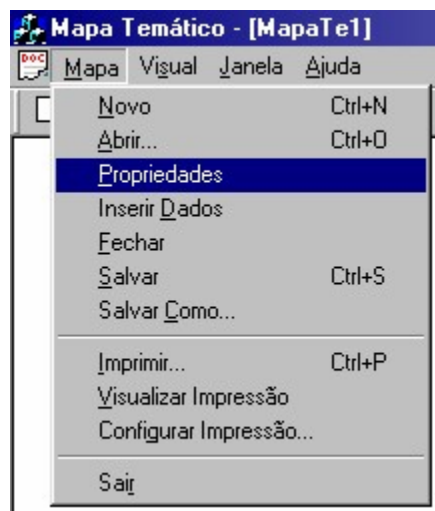
FIGURA 40 – DIAGRAMA DE CLASSES COM ATRIBUTOS E MÉTODOS



As classes implementadas possibilitam que o sistema possua um comportamento semelhante ao do protótipo implementado no Expert Sinta, ou seja, permite a definição da linguagem cartográfica a partir de informações fornecidas pelo usuário a respeito da primitiva gráfica e nível de medida do fenômeno.

Na tela inicial, o usuário deve selecionar a opção do menu Mapa/Propriedades (Figura 41), e será aberta a janela da Figura 42. Nesta etapa, o usuário pode digitar, opcionalmente, um título para o mapa. A seguir, deve, obrigatoriamente, clicar no botão “Base de Dados”. O sistema, como implementado até o momento, não é capaz de ler arquivos de dados geográficos. Esta etapa apenas ilustra a seqüência seguida pelo usuário durante o projeto cartográfico. Após a definição da base de dados, deve ser definida a base cartográfica. Apenas após completar estas etapas, estará habilitado o botão correspondente à definição do tema, que abrirá a janela da Figura 43.

FIGURA 41 – TELA INICIAL DO SISTEMA



Caso o usuário não preencha todas as informações necessárias na janela de descrição do tema (Figura 43), uma mensagem é exibida quando o botão “Legenda” é acionado (Figura 44), avisando-o que deixou de fornecer alguma informação fundamental para a continuidade do projeto.

FIGURA 42 – JANELA DESCRIÇÃO DO MAPA



FIGURA 43 – JANELA DESCRIÇÃO DO TEMA

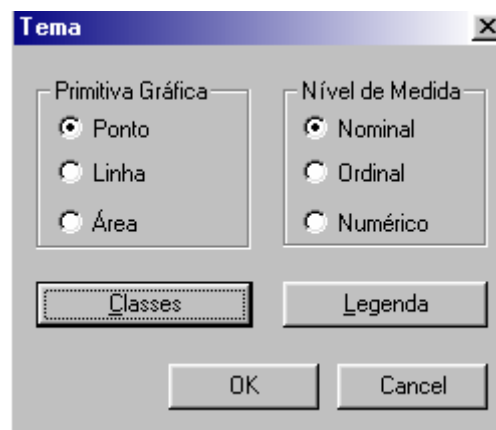


FIGURA 44 – JANELA AVISO



Caso todas as informações da Figura 43 tenham sido preenchidas, a legenda é aberta, com a sugestão da linguagem cartográfica fornecida pelo sistema. A Figura 45 mostra a legenda fornecida para a primitiva gráfica “ponto”, nível de medida ”nominal” e cinco classes definidas. A consulta foi efetuada com o objetivo de construir um mapa para os principais revendedores de combustível no município de

Curitiba. O mapa resultante da aplicação da linguagem cartográfica sugerida pelo sistema pode ser visualizado na Figura 46.

FIGURA 45 – JANELA LEGENDA: PONTO NOMINAL



Caso deseje, o usuário pode alterar estas especificações clicando no botão “Alterar”, que abre a janela da Figura 47. Nesta janela, as opções também estão subordinadas às regras do sistema especialista. Isto significa, por exemplo, que é permitida apenas uma variável visual em cada tema. Para o caso de “ponto nominal”, apenas duas opções estão disponíveis: “tom de cor” e “forma”. Caso a variável visual “tom de cor” esteja selecionada, e o usuário selecionar a forma “triângulo”, todas as classes são automaticamente modificadas para triângulos, mantendo as cores selecionadas anteriormente. Não foi implementada a possibilidade de o usuário modificar os tons de cor utilizados, mas ele pode modificar a luminosidade de cor. Neste caso, também todas as classes serão alteradas. As mesmas observações valem para o atributo gráfico “tamanho”.

FIGURA 46 – MAPA EXEMPLO PARA PONTO NOMINAL:
REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEL EM CURITIBA

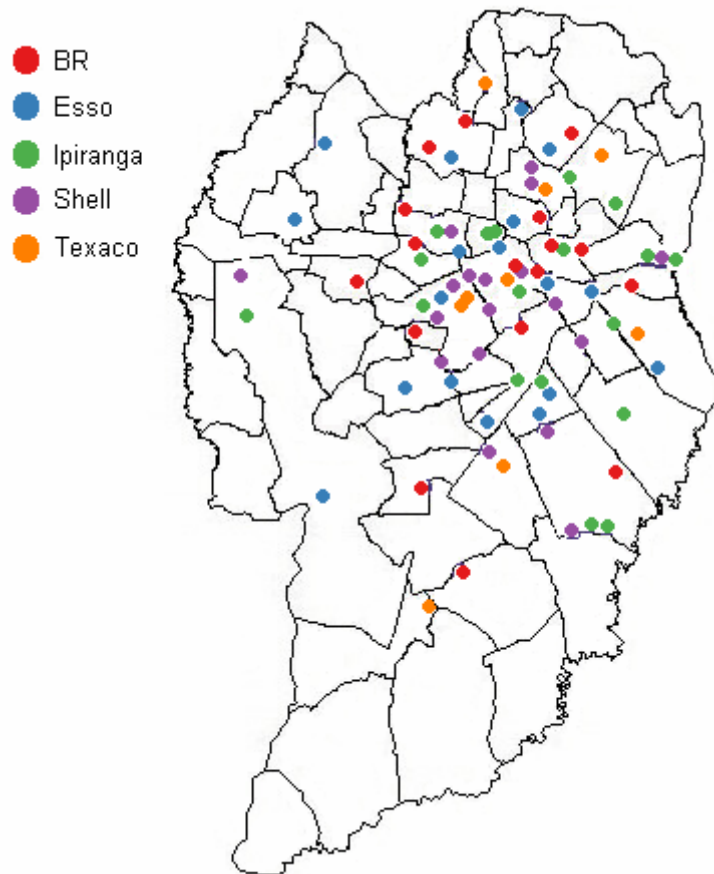


FIGURA 47 – JANELA ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS GRÁFICOS DE PONTOS



Por outro lado, o usuário pode alterar a variável visual para “forma”. Neste caso, as classes serão representadas por diferentes formas, mas todas com o mesmo tom de cor. Caso o usuário deseje, pode alterar o tom de cor utilizado, o que alterará a

representação de todas as classes.

Um comportamento semelhante será observado ao serem utilizadas as janelas para geração e alteração da simbologia para linhas e áreas. A Figura 48 mostra a legenda gerada para o nível de medida ordinal, para o caso das linhas. Caso deseje alterar algum dos atributos gráficos, ou a variável visual para luminosidade de cor, é utilizada a tela da Figura 49. O atributo gráfico tamanho está desabilitado, pois é a variável visual que está sendo utilizada.

FIGURA 48 – JANELA LEGENDA: LINHA ORDINAL

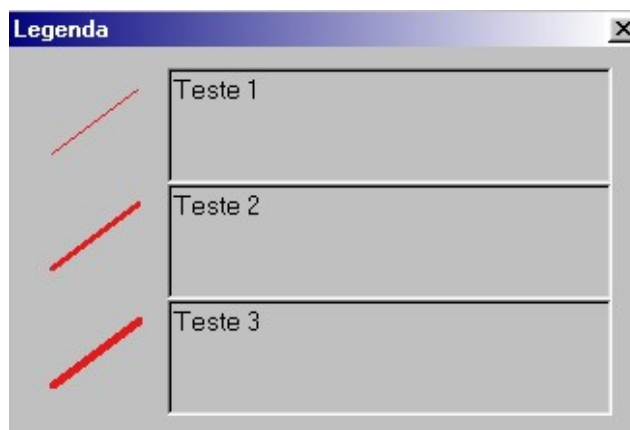


FIGURA 49 – JANELA ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS GRÁFICOS DE LINHAS



Para o caso nominal, primitiva gráfica linhas, a variável visual inicialmente definida é arranjo, e as linhas são apresentadas no tom de cor preto. A variável visual arranjo é apresentada como “padrão” por ser esta uma palavra cujo significado facilita o uso do sistema pelo público em geral. O usuário pode alterar o tom de cor utilizado,

mas isso alterará o tom de todas as classes definidas. Por exemplo, caso selecione o tom de cor azul, todas as classes serão representadas em azul. O usuário também pode alterar a luminosidade, da mesma forma, de todas as classes simultaneamente. Caso altere a variável visual para tom de cor, É possível ainda alterar o padrão da linha apresentada.

Para as áreas, inicialmente é sugerida a variável tom de cor, mas o usuário pode alterá-la para orientação. De forma semelhante às duas janelas já apresentadas, qualquer alteração nos atributos gráficos provoca a alteração de todas as classes da legenda. Para os casos numérico e ordinal, é utilizada a variável luminosidade, como na legenda da Figura 50. A variável visual luminosidade pode ser alterada para espaçamento, através da tela apresentada na Figura 51.

FIGURA 50 – JANELA LEGENDA ÁREA NUMÉRICO

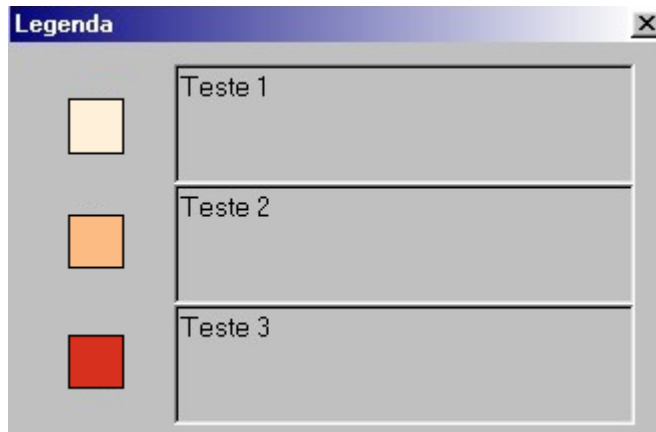
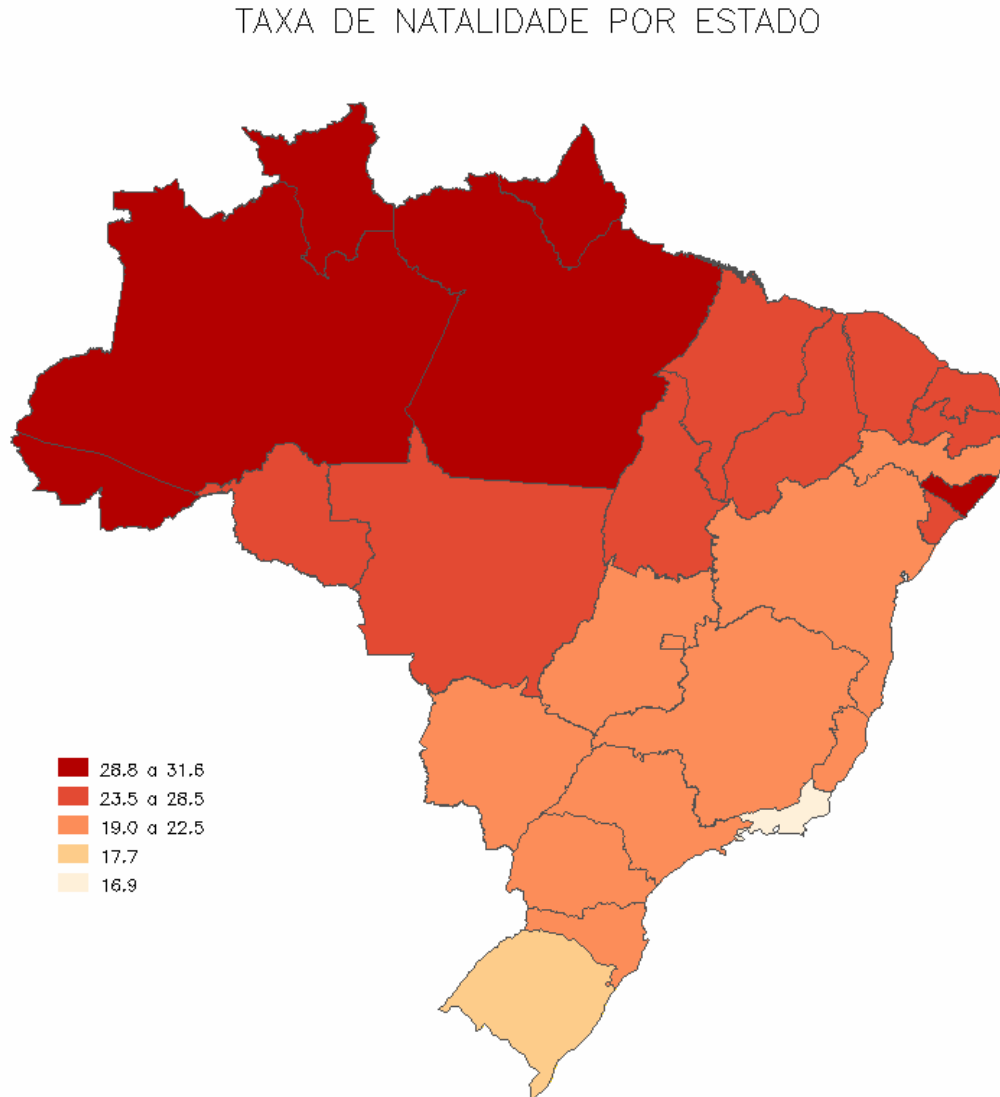


FIGURA 51 – JANELA ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS GRÁFICOS DE ÁREAS



A Figura 52 mostra um mapa de taxa de natalidade por estados do Brasil, com dados do Censo 2000, disponibilizado pelo IBGE, sobre o qual foi aplicada a linguagem cartográfica sugerida pelo sistema proposto (Figura 50).

FIGURA 52 – MAPA EXEMPLO PARA ÁREA NUMÉRICO: TAXA DE NATALIDADE POR ESTADOS DO BRASIL



Todas as cores utilizadas foram geradas com base no sistema ColorBrewer (GEOVISTA), desenvolvido pelo grupo GeoVISTA da Universidade Estadual da Pensilvânia, Estados Unidos. Foram implementados apenas dois esquemas de cores para o nível de medida nominal, com os mesmos tons de cor em dois diferentes valores (luminosidade). Também foram implementados três esquemas para os níveis ordinal e numérico.

Os esquemas de cores adequados para o nível nominal são denominados “qualitativos” no sistema ColorBrewer. Os valores dos componentes RGB para os dois esquemas qualitativos utilizados estão definidos no Quadro 6. O aspecto visual destes esquemas pode ser visto na Figura 53.

QUADRO 6 – COMPONENTES RGB DOS ESQUEMAS QUALITATIVOS

	Esquema 1			Esquema 2		
	R	G	B	R	G	B
vermelho	228	26	28	251	180	174
azul	55	126	184	179	205	227
verde	77	175	75	204	235	197
roxo	152	78	163	222	203	228
laranja	255	127	0	254	217	166
amarelo	255	255	51	255	255	204
marrom	186	86	40	229	216	189
rosa	247	129	191	153	218	236
preto	0	0	0	220	220	220

No sistema implementado, os nomes das cores funcionam como indexadores para uma matriz de componentes RGB. Estas cores são atribuídas às classes na ordem em que aparecem no Quadro 6 e na Figura 53, ou seja, um mapa que utilize três cores terá vermelho, azul e verde. Caso sejam quatro cores, além destas é acrescentado o roxo, e assim sucessivamente. Só podem ser utilizadas cores dentro de um mesmo esquema. A cor preta no Esquema 1, ou cinza no Esquema 2 (Quadro 6 e Figura 53), não fazem parte do esquema de cores, que só pode representar até oito classes. Estas cores estão disponíveis para usos específicos, como representação da base cartográfica ou de feições lineares.

FIGURA 53 – ASPECTO DOS ESQUEMAS QUALITATIVOS UTILIZADOS NO SISTEMA



O sistema sistema ColorBrewer denomina os outros três esquemas utilizados como “seqüenciais”. Estes podem ser aplicados a fenômenos com nível de medida ordinal ou numérico. Suas componentes RGB estão no Quadro 7, que também mostra na última linha o nome dos esquemas utilizados no sistema ColorBrewer. Seu aspecto

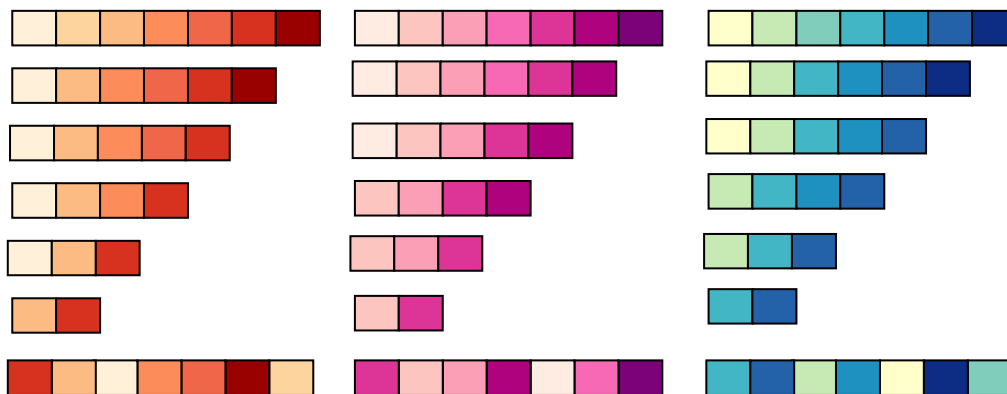
visual é mostrado na Figura 54. No sistema implementado, apenas o esquema de sete classes segue fielmente a proposta do sistema ColorBrewer. Para um número menor de classes, simplesmente algumas delas são eliminadas do esquema, sem nenhuma alteração em seus valores RGB, o que não é o sugerido no ColorBrewer. Esta decisão considera que os esquemas devem ser bons o suficiente para permitir a discriminação entre as diferentes classes. Neste caso, como as classes podem ser discriminadas no esquema de sete cores, sua discriminação também é possível quando uma das cores é eliminada. O sistema ColorBrewer propõe a utilização de outros valores RGB para que a transição entre as classes seja mais agradável. Para este sistema, considerou-se que este benefício não justificaria a quantidade de memória necessária para armazenar todos os esquemas de cores, sete vezes maior que a utilizada com esta forma de implementação.

QUADRO 7 – COMPONENTES RGB DOS ESQUEMAS SEQUENCIAIS

Esquema 1			Esquema 2			Esquema 3		
R	G	B	R	G	B	R	G	B
254	240	217	254	235	226	255	255	204
253	212	158	252	197	192	199	233	180
253	187	132	250	159	181	127	205	187
252	141	89	247	104	161	65	182	196
239	101	72	221	52	151	29	145	192
215	48	31	174	1	126	34	94	168
153	0	0	122	1	119	12	44	132
OrRd			RdPu			YIGnBu		

A Figura 54 mostra o esquema completo, para sete classes, e também sua utilização para quantidades menores de classes do tema. A última seqüência de cada esquema indica a ordem em que as cores são acrescentadas ao mapa, ou seja, um mapa apenas com duas classes utilizará as duas primeiras cores da última linha. Para três classes, a terceira cor da última linha é incluída, e assim sucessivamente. Todos os esquemas de cores utilizados são avaliados no sistema ColorBrewer como apropriados para visualização em monitores CRT.

FIGURA 54 – ASPECTO DOS ESQUEMAS SEQUENCIAIS UTILIZADOS



7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A técnica de sistemas baseados em conhecimentos é adequada para resolver o problema de construir um projeto cartográfico temático e, em especial, o problema de definir a linguagem cartográfica. A definição dos símbolos envolve, predominantemente, tarefas de natureza simbólica, e o sistema que a realiza pode ser classificado como um sistema de projeto.

Um sistema baseado em conhecimento pode aumentar a eficiência da visualização de mapas temáticos por usuários leigos em cartografia temática através da provisão de soluções “default” que seguem os princípios de projeto cartográfico temático. Um sistema alimentado com o conhecimento necessário sobre cartografia pode auxiliar o usuário na escolha da projeção cartográfica adequada para visualização, na seleção das feições topográficas visíveis, na identificação do nível de medida do fenômeno, na escolha do método de classificação apropriado, no caso de dados numéricos, na seleção da variável visual que melhor representa as características espaciais do fenômeno e na definição da linguagem cartográfica.

A definição de uma ontologia para projeto cartográfico temático propicia a estrutura conceitual e o vocabulário necessários para a construção de uma base de conhecimentos que incorpore métodos para a construção de mapas temáticos, com base em estudos existentes sobre a percepção humana dos mapas, a teoria das cores, princípios estatísticos e de cartografia. Caso o sistema implementado venha a ser integrado com outro sistema, baseado em conhecimento ou não, esta formalização serve de apoio para a transformação e correlação entre os diferentes termos utilizados. Além disso, esta ontologia pode ser utilizada em implementações futuras para manipulação de informações geográficas.

Um sistema baseado em conhecimentos pode ser desenvolvido de forma iterativa e interativa através da implementação de um protótipo para a validação das regras da base de conhecimentos. As decisões foram implementadas utilizando regras

de produção no ambiente Expert Sinta/Dise (UFC). Neste protótipo, o usuário fornece as informações sobre o nível de medida, a primitiva gráfica e o número de classes do fenômeno, e o sistema oferece uma solução para a linguagem cartográfica a ser utilizada no mapa. Esta solução é baseada na determinação da variável visual e em estudos sobre a percepção humana dos símbolos cartográficos.

Para a implementação da interface gráfica, foi utilizado o desenvolvimento orientado a objetos, que permite a utilização da estrutura conceitual já obtida através da ontologia. A linguagem de especificação UML oferece a vantagem da visualização das relações entre as classes sem a desvantagem dos detalhes de implementação.

O sistema implementado pode não apenas restringir as opções do usuário, mas também fornecer uma solução “default” satisfatória, ou seja, de acordo com os princípios de cartografia temática. A interatividade oferece ao sistema os dados necessários para a obtenção da melhor solução, de acordo com os dados disponíveis. O usuário possui liberdade para alterar qualquer etapa desta solução, mas apenas entre as opções que não ferem algum dos princípios de projeto cartográfico temático implementado na base de conhecimentos.

Como recomendações para trabalhos futuros, pode-se considerar a serialização (gravação) dos mapas gerados e a implementação de todas as funções para que o sistema possa realmente ser utilizado por um usuário leigo para a definição da linguagem cartográfica. Um arquivo de dados pode ser incluído como exemplo para que o usuário possa visualizar a aplicação da linguagem cartográfica selecionada. É possível implementar um sistema que busque algumas das informações solicitadas ao usuário em algum arquivo ou a partir de tabelas de dados, ao invés de obtê-las através de perguntas.

Também se pretende gerar a base de conhecimentos para todas as decisões do projeto cartográfico temático, gerar a ontologia de suporte e implementar um sistema completo, de forma que o usuário seja guiado por todas as etapas na construção de mapas temáticos. Considera-se a transformação desta implementação para um

ambiente de domínio público, como Linux, e a sua implementação como ferramenta Web, que, além da possibilidade de estar disponível na Internet, também pode buscar dados na rede mundial a respeito dos mapas a serem produzidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEL, M. Sistemas especialistas. Instituto de Informática, UFRGS: 1998.
- ADRIENKO, G. L.; ADRIENKO, N. V. Interactive maps for visual data exploration. International Journal Geographic Information Science, v. 13, n. 4, jun. 1999, p. 355-374. Disponível em <<http://ais.gmd.de/and/icavis>> Acessado em 29 maio 2002.
- BARRETO, J. M. Inteligência artificial no limiar do século XXI: abordagem híbrida. Florianópolis: J. M. Barreto, 1999.
- BERGMAN, L. D.; ROGOWITZ, B. E.; TREINISH, L. A. A rule-based tool for assisting colormap selection. Proceedings IEEE Visualization '95, p118-125, Atlanta, Georgia, out. 1995. Research report IBM Thomas J. Watson Research Center. Yorktown Heights, NY. Disponível em: <<http://www.research.ibm.com/dx/proceedings/pravda/index.htm>> Acessado em 29 maio 2002.
- BOS, E. S. Cartographic symbol design. Enschede: ITC, 1984.
- BREWER, C. A. Color use guidelines for data representation. Proceedings of the Section on Statistical Graphics, American Statistical Association, Alexandria, 1999, p.55-60.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. Principles of geographical information systems: spatial information systems and geostatistics. New York: Oxford University Press, 1998.
- BUTTENFIELD, B. P.; MARK, D. M. Expert systems in cartographic design. In: TAYLOR, D. R. Fraser. Geographic information systems: the microcomputer and modern cartography. Ottawa: Pergamon, 1994, p.129-150.
- CHANDRASEKARAN, B.; JOSEPHSON, J. R.; BENJAMINS, V. R.; What are ontologies, and why do we need them? IEEE Intelligent Systems & Their Applications. Los Alamitos, California, v. 14, n. 1, p. 20-26, jan./fev. 1999.
- DAVIS, R.; SHROBE, H.; SZOLOVITS, P. What is a knowledge representation? AI Magazine, p. 17-33, Spring, 1993.
- DENT, B. D. Cartography: Thematic map design. WCB/McGraw-Hill, 1999.
- FORREST, D. Don't break the rules or helping non-cartographers to design maps: an application for cartographic expert systems. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO CARTOGRÁFICA INTERNACIONAL – ICA, 17, Barcelona, Espanha, 1995 Proceedings. Barcelona, Institut Cartographic de Catalunya, 1995 p.1174-1178.
- FRABRIKANT, S. I.; BUTTENFIELD, B. P. Formalizing semantic spaces for information access. Annals of The Association of America Geographers, v. 91, n. 2, 2001, p.263-280.
- FURLAN, J. D. Modelagem de objetos através da UML. São Paulo: Makron Books do Brasil Editora Ltda., 1998.

- GEOVISTA, ColorBrewer. Pennsylvania State University. Disponível em: <<http://www.geovista.psu.edu>>. Acessado em 15 fevereiro 2003.
- GREEN, D.R. Wherefore art thou cartographer? Your GIS needs you!. 16. International Cartographic Conference, maio 1993. Colônia, Alemanha. Proceedings II, p. 1011-1025.
- GREGORY, K. Using Visual C++ 6.0. Indianapolis: QUE, 1998.
- GROSSO, W. E.; ERIKSSON, H.; FERGERSON, R. W. ; GENNARI, J. H. ; TU, S. W. ; MUSEN, M. A. Knowledge modeling at the millennium: the design and evolution of Protege-2000. 1999. Disponível em: <http://www-smi.stanford.edu/pubs/SMI_Reports/SMI-1999-0801.pdf> Acessado em 23 maio 2002.
- HEINZLE, R.; FERRARI, M. J. ; KOSTETZER, C. U. Um guia para o desenvolvimento de sistemas especialistas. In: Dynamis, v.6 n.22 p. 109-120. Blumenau: FURB, 1998.
- HERING, E. Zur Lehre vom Lichtsinne. Viena: Gerold, 1878.
- IBM. Images from Pravda system. Disponível em: <<http://www.research.ibm.com/dx/imageGallery/pravda.html>>. Acessado em 28 maio 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 23 maio 2002.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Biblioteca de funções TerraLib e documentação. Disponível em <www.inpe.br> Acessado em 23 maio 2002.
- IRIT – DeCETTI. ICARE : an expert system for satellite images interpretation. Disponível em: <<http://www.irit.fr/LEONARDO/IRIT/KNOWLEDGE-BASED/node42.html>> Acessado em 15 maio 2002.
- KEATES, J. S. Cartographic design and production. Harlow: Longman, 1988.
- KRETSCHMER, U.; JASNOCH, U. CommonGIS: Common access to geographically referenced data. In: Computer Graphik. Alemanha, 1999, n. 2, p. 15-17. Disponível em: <www.initgraphics.net/publications/topics/1999/issue2/2_99a06.pdf> Acessado em: 29 maio 2002.
- KUHN, W. Ontologies in support of activities in geographic space.. Institut für Geoinformatik Westfälische Wilhelms-Universität Münster 2001. Disponível em: <http://ifgi.uni-muenster.de/kuhn/publications/KUHN_Ontologies_in_Support.htm> Acessado em 29 maio 2002.
- LÓPEZ, M. F.; GÓMEZ-PÉREZ, A.; SIERRA, J. P.; SIERRA, A. P. Building a chemical ontology using Methontology and the Ontology Design Environment. IEEE Intelligent Systems & Their Applications. Los Alamitos, California, v. 14, n. 1, p. 37-46, jan./fev. 1999.
- MACEACHREN, A. M. Some truth with maps: a primer on symbolization & design. Washington, D.C.: Association of American Geographers, 1994.

MACKANESS, W. A.; PURVES, R. S. Automated displacement for large numbers of discrete map objects. New York: Springer-Verlag New York, Inc. 2001 *Algorithmica* 9 March 2001

MONMONIER, M. How to lie with maps. Chicago: The University of Chicago Press, 1996.

ONTOLOGIA. In: Novo Dicionário AURÉLIO. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1975.

RICH, E.; KNIGHT, K. Inteligência artificial. São Paulo: Makron Books, 1995

ROBBI, C. Sistema para visualização de informações geográficas para planejamento urbano. São José dos Campos, 2000. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – INPE.

ROLSTON, D. W. Principles of artificial intelligence and expert systems development. Singapore: McGraw-Hill, 1988.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. Artificial intelligence: a modern approach. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (SGK). Cartographic generalization: topographic maps. Zurich, 1977.

SLOCUM, T. A. Thematic Cartography and Visualization. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

STANFORD UNIVERSITY (SU). Protegé-2000. Disponível em: <<http://protégé.stanford.edu>> Acesso em 23 maio 2002.

SWARTOUT, W. Ontologies. IEEE Intelligent Systems & Their Applications. Los Alamitos, California, v. 14, n. 1, p. 18-19, jan./fev. 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). Laboratório de Inteligência Artificial. Disponível em <<http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta/exsintashell.htm>> Acesso em 23 maio 2002.

WATERMAN, D. A. A guide to expert systems. New York: Addison Wesley Publishing Company, 1986.

APÊNDICE 1 – BASE DE CONHECIMENTOS

 SOBRE O SISTEMA ESPECIALISTA

-- Nome: Mapa Temático
 -- Autores: Eliana Pantaleão e Claudia Robbi Sluter

Operador de maior precedência: disjunção
 Fator de confiança mínimo para aceitação de regra: 50

VARIÁVEIS

*****definição das variáveis, com seus tipos e valores*****

OBJETIVOS

variavel visual
 forma
 tom de cor
 tamanho
 luminosidade

REGRAS

Regra 1

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 1
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%

Regra 2

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 2
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%

Regra 3

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 3
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 tom de cor = verde CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%

tamanho = 1 CNF 100%

Regra 4

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 4
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 tom de cor = verde CNF 100%
 tom de cor = laranja CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%

Regra 5

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 5
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 tom de cor = verde CNF 100%
 tom de cor = laranja CNF 100%
 tom de cor = magenta CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%

Regra 6

SE primitiva grafica = linha
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 1
 ENTÃO variavel visual = forma CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 forma = tracejada CNF 100%

Regra 7

SE primitiva grafica = linha
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 2
 ENTÃO variavel visual = forma CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 forma = tracejada CNF 100%
 forma = pontilhada CNF 100%

Regra 8

SE primitiva grafica = linha
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 3
 ENTÃO variavel visual = forma CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 forma = tracejada CNF 100%

forma = pontilhada CNF 100%
 forma = ponto traço CNF 100%

Regra 9

SE primitiva grafica = linha
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 4
 ENTÃO variavel visual = forma CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 forma = tracejada CNF 100%
 forma = pontilhada CNF 100%
 forma = ponto traço CNF 100%
 forma = ponto ponto traço CNF 100%

Regra 10

SE primitiva grafica = linha
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 5
 ENTÃO variavel visual = forma CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 forma = tracejada CNF 100%
 forma = pontilhada CNF 100%
 forma = ponto traço CNF 100%
 forma = ponto ponto traço CNF 100%
 forma = ponto traço traço CNF 100%

Regra 11

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 1
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%

Regra 12

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 2
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%

Regra 13

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 3
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 tom de cor = verde CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%

Regra 14

SE primitiva grafica = area

E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 4
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 tom de cor = verde CNF 100%
 tom de cor = laranja CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%

Regra 15

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = nominal
 E numero de classes = 5
 ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 tom de cor = azul CNF 100%
 tom de cor = verde CNF 100%
 tom de cor = laranja CNF 100%
 tom de cor = magenta CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%

Regra 16

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 2
 ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%

Regra 17

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 3
 ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 tamanho = 3 CNF 100%

Regra 18

SE primitiva grafica = ponto
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 4
 ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = circulo CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 tamanho = 3 CNF 100%
 tamanho = 4 CNF 100%

Regra 19

```

SE primitiva grafica = ponto
E nivel de medida = ordinal
OU nivel de medida = numerico
E numero de classes = 5
ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
    tom de cor = vermelho CNF 100%
    forma = circulo CNF 100%
    luminosidade = 0 CNF 100%
    tamanho = 1 CNF 100%
    tamanho = 2 CNF 100%
    tamanho = 3 CNF 100%
    tamanho = 4 CNF 100%
    tamanho = 5 CNF 100%

```

Regra 20

```

SE primitiva grafica = linha
E nivel de medida = ordinal
OU nivel de medida = numerico
E numero de classes = 2
ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
    tom de cor = vermelho CNF 100%
    forma = sólida CNF 100%
    luminosidade = 0 CNF 100%
    tamanho = 1 CNF 100%
    tamanho = 2 CNF 100%

```

Regra 21

```

SE primitiva grafica = linha
E nivel de medida = ordinal
OU nivel de medida = numerico
E numero de classes = 3
ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
    tom de cor = vermelho CNF 100%
    forma = sólida CNF 100%
    luminosidade = 0 CNF 100%
    tamanho = 1 CNF 100%
    tamanho = 2 CNF 100%
    tamanho = 3 CNF 100%

```

Regra 22

```

SE primitiva grafica = linha
E nivel de medida = ordinal
OU nivel de medida = numerico
E numero de classes = 4
ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
    tom de cor = vermelho CNF 100%
    forma = sólida CNF 100%
    luminosidade = 0 CNF 100%
    tamanho = 1 CNF 100%
    tamanho = 2 CNF 100%
    tamanho = 3 CNF 100%
    tamanho = 4 CNF 100%

```

Regra 23

```

SE primitiva grafica = linha
E numero de classes = 5
E nivel de medida = ordinal

```

OU nivel de medida = numerico
 ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = sólida CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 tamanho = 1 CNF 100%
 tamanho = 2 CNF 100%
 tamanho = 3 CNF 100%
 tamanho = 4 CNF 100%
 tamanho = 5 CNF 100%

Regra 24

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 2
 ENTÃO variavel visual = luminosidade CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = sólida CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 luminosidade = 1 CNF 100%

Regra 25

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 3
 ENTÃO variavel visual = luminosidade CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = sólida CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 luminosidade = 1 CNF 100%
 luminosidade = 2 CNF 100%

Regra 26

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 4
 ENTÃO variavel visual = luminosidade CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = sólida CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 luminosidade = 1 CNF 100%
 luminosidade = 2 CNF 100%
 luminosidade = 3 CNF 100%

Regra 27

SE primitiva grafica = area
 E nivel de medida = ordinal
 OU nivel de medida = numerico
 E numero de classes = 5
 ENTÃO variavel visual = luminosidade CNF 100%
 tom de cor = vermelho CNF 100%
 forma = sólida CNF 100%
 luminosidade = 0 CNF 100%
 luminosidade = 1 CNF 100%
 luminosidade = 2 CNF 100%
 luminosidade = 3 CNF 100%

luminosidade = 4 CNF 100%

PERGUNTAS

Variável:nível de medida
 Pergunta:"Qual o nível de medida do fenômeno?"
 Variável:primitiva grafica
 Pergunta:"Qual a primitiva gráfica utilizada?"

 Gerado com o Expert SINTA versão 1.1b
 (c) 1997 - Universidade Federal do Ceará
 Laboratório de Inteligência Artificial
 LIA/UFC

Algumas informações foram retiradas do arquivo acima, como o nome dos arquivos com as regras e o arquivo de ajuda, todos os nomes, tipos e valores das variáveis, e algumas opções de interface, por tornarem a listagem desnecessariamente extensa. As variáveis, com seus valores e tipos, podem ser melhor visualizadas no Quadro 8.

QUADRO 8 – VARIÁVEIS DA BASE DE CONHECIMENTOS

Variável	Tipo	Valores
primitiva gráfica	univalorada	ponto, linha, área
nível de medida	univalorada	nominal, ordinal, numérico
número de classes	numérica	> 0
variável visual	univalorada	tamanho, forma, luminosidade, tom de cor
tamanho	multivalorada	1, 2, 3, 4, 5
tom de cor	multivalorada	vermelho, azul, verde, laranja, magenta, preto
luminosidade	multivalorada	0, 1, 2, 3, 4
forma	multivalorada	círculo, triângulo, quadrado, estrela, cruz, sólida, tracejada, pontilhada, ponto-traço, ponto-ponto-traço, ponto-traço-traço